

Академик АН УССР В. И. АРХАРОВ, Е. С. МАРХАСИН, В. В. ЩИГОЛЕВ,
Т. И. ДУБЯНСКАЯ, И. И. ЧАЙКА

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ФОРМИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКОЛИСТОВОЙ СТАЛИ
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЯВЛЕНИЙ МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ
ВНУТРЕННЕЙ АДсорбЦИИ ПРИМЕСЕЙ**

При производстве тонколистовой стали 08кп, соответственно ее основному назначению, необходимо обеспечить достаточно высокий уровень главного технологического свойства этой стали — штампуемости, оцениваемой пробой по Эриксену. Как показали наши исследования ⁽¹⁾, главным фактором, снижающим штампуемость, является межкристаллитная гетерофазность. Она возникает как следствие межкристаллитной внутренней адсорбции примесей ⁽²⁾ при высокой температуре. При последующем недостаточно медленном охлаждении не успевает произойти диффузионное выравнивание концентрации между адсорбционно обогащенными межкристаллитными сочленениями и толщиной кристаллитов.

Ввиду уменьшения растворимости при снижении температуры в межкристаллитных сочленениях насыщенный твердый раствор переходит в пересыщенное состояние и становится возможным его локальный распад, создающий в материале межкристаллитную гетерофазность. Если не учитывать явлений внутренней адсорбции, то такая гетерофазность может казаться неожиданной и парадоксальной, так как концентрация примесей в стали, рассчитанная на весь объем металла, при всех температурах обработки остается ниже растворимости, учитываемой соответствующими диаграммами состояния, и последние, казалось бы, исключают возможность распада твердого раствора.

Необходимо принимать во внимание также принципиально важное отличие явления локального распада, обусловленного предшествовавшей межкристаллитной внутренней адсорбцией, от тривиального случая иницирующего действия границ зерен при распаде твердого раствора, пересыщенного во всем своем объеме. Это отличие заключается в том, что в тривиальном случае распад, начавшись у границ кристаллитов, распространяется затем и на их толщину. В случае же распада в адсорбционно обогащенных приграничных зонах процесс остается локализованным в этих зонах, а при очень длительных выдержках ликвидируется благодаря диффузионному (хотя и чрезвычайно замедленному) выравниванию концентрации между обогащенными зонами и толщиной кристаллита, причем избыток примеси мигрирует в глубь кристаллита, все время остающуюся перенасыщенной, а приграничные зоны оказываются лишь в состоянии насыщения твердого раствора.

Межкристаллитная гетерофазность, обусловленная последствиями внутренней адсорбции, может быть устранена следующим циклом термообработки: 1) нагрев материала до температуры выше той, при которой в ходе предшествовавшей термообработки возникло адсорбционное насыщение приграничного твердого раствора (перешедшее затем при быстром охлаждении в локальное пересыщение); 2) выдержка при этой температуре, во время которой гетерофазные выделения перейдут в твердый раствор, и 3) замедленное охлаждение, при котором происходит диффузионный от-

ток избытка примеси от границ в толщу кристаллита так, что на границах при каждой температуре сохраняется насыщение, не переходящее в пересыщение.

Следует отметить, что описанный механизм возникновения межкристаллитной гетерофазности, опасной для штампуемости стали, может заметно действовать при не слишком низких температурах, в диапазоне которых существенно меняется растворимость, и при пересыщении твердого раствора достаточно быстро осуществляется его распад.

При достаточно пониженной температуре и общая растворимость оказывается уменьшенной, и ее дальнейшее уменьшение с понижением температуры становится малым, а главное, парализованы все диффузионные процессы, включая и распад твердого раствора.

Поэтому, если в предшествующей стадии термической обработки в материале не возникло локального межкристаллитного пересыщения, то при достаточно пониженных температурах описанные явления возникновения локальной гетерофазности не получают развития.

На основе изложенных соображений можно не только понять происхождение брака при производстве тонколистовой стали, предназначенной для обработки штамповкой, но также указать, в каких направлениях возможные отклонения от нормального технологического процесса опасны, но и дать способы исправления бракованной продукции, а также предложить рациональные изменения технологии для предупреждения брака.

С этой целью нами были проведены опыты, в которых образцы бракованной стали 08кп приводились в улучшенное состояние годности по требованиям ГОСТ. Кроме того, демонстрировалась сущность вредного влияния последствий внутренней адсорбции в опытах, в которых образцы годной стали 08кп переводились в брак. И, наконец, эти образцы, нарочито «испорченные» в целях демонстрации, переводились дополнительной, улучшающей термообработкой снова в состояние годной продукции.

В первой серии опытов использовались листы из партии стали, забракованной на основе испытаний по Эриксену (испытания произведены на 4 образцах от каждого из 7 листов). Значения показателя по Эриксену получены от 11,2 до 12,0 (при минимально требуемой величине по ГОСТ 12,1).

На тех же образцах получены электронно-фрактографические картины, обнаружившие заметную межкристаллитную гетерофазность.

Образцы, взятые от тех же листов (4 экземпляра), подвергались нагреву в лабораторной печи до 720°C с выдержкой при этой температуре в течение 10 час., после чего охлаждались со скоростью $40\text{--}50^{\circ}/\text{час}$. Последующая проба по Эриксену дала значения показателя от 12,4 до 13,1, т. е. выше уровня требований по ГОСТ. Электронно-микроскопическая картина (рис. 1) этих образцов показала, что на поверхности межкристаллитных изломов содержится существенно меньше гетерофазных выделений, чем в исходном состоянии. Рис. 1 иллюстрирует исходное (а) и улучшенное (б) состояния.

Во второй серии опытов от листов из партии стали, признанной годной на основании 4 проб по Эриксену (значения показателя от 11,6 до 12,5 при минимально требуемой величине по ГОСТ 11,6), были взяты образцы, подвергавшиеся затем нагреву до 850°C с последующей закалкой в воде и отпуском при 450°C в течение 3 час. Испытания этих образцов по Эриксену после такой термообработки дали показатели от 9,2 до 11,1, т. е. ниже браковочных требований. На поверхности разрушения электронно-фрактографически обнаруживалась сильно выраженная гетерофазность (рис. 1, в).

В третьей серии опытов от партии небракованной стали были взяты две группы образцов. Одна из них (контрольная) прошла обработку, как и во второй серии опытов, и дала показатели (по Эриксену и по гетерофазной загрязненности межкристаллитных границ) на уровне ниже браковочных. Вторая же группа образцов прошла сначала термообработку по тому же

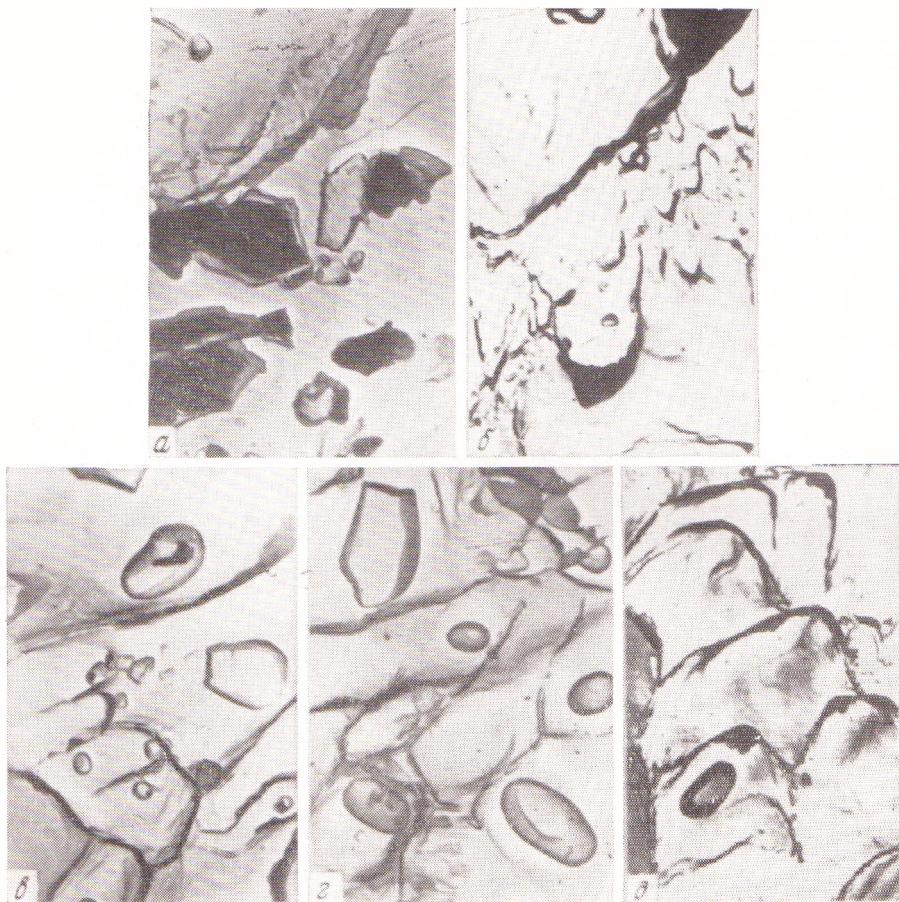


Рис. 1. Типичный межкристаллитный излом стали 08кп. *а* — исходное состояние (брак), *б* — то же после нагрева до 720°C , выдержка 10 час., медленное охлаждение; *в* — небракованный образец после нагрева до 850°C , выдержка 3 часа, закалка в воде и отпуск при 450°C в течение 3 час; *г* — годный образец после нагрева до 850°C , выдержка в течение 3 час., отпуск при 450°C в течение 3 час., *д* — закалка в воде, *е* — исходное состояние (годный образец), *ж* — после нагрева до 850°C , выдержка в течение 3 час, медленное охлаждение. Электронная фраттография, $13\,500\times$

К статье В. П. Бутузова, Л. Т. Литвина и др., стр. 1105

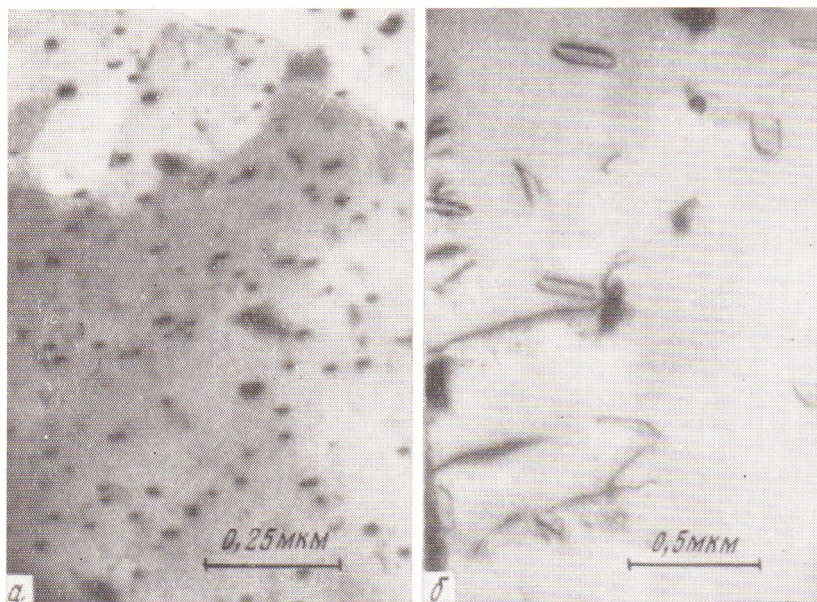


Рис. 2. Электронномикроскопические снимки (на просвет) природного алмаза I разновидности. Показаны участки, содержащие плейтелиты (а) и дискообразные скопления вакансий (б)

варианту (второй серии опытов), а затем по варианту первой серии опытов (улучшающую нагрев до 850°C с выдержкой при этой температуре 3 час., после чего охлаждались со скоростью $40-50^{\circ}/\text{час}$).

В результате образцы показали себя по пробе Эриксона выше требований ГОСТ и степень гетерофазной загрязненности границ зерен ниже, чем у исходных образцов (рис. 1, а, б).

Подводя итог экспериментальным результатам и соображениям, высказанным в начале статьи, можно сделать следующие выводы:

1) подтвердились предположения о главной роли межкристаллитной гетерофазности стали в формировании ее штампуемости;

2) подтвердились предположения об адсорбционном происхождении межкристаллитной гетерофазности, обуславливающей брак стали по недостаточной штампуемости;

3) бракованная сталь может быть переведена в годное состояние путем термообработки, учитывающей механизм явлений, обусловленных межкристаллитной внутренней адсорбцией;

4) для предотвращения возникновения брака можно рекомендовать замедленное охлаждение стали после нагрева ее до температур выше $850-900^{\circ}\text{C}$;

5) для контроля за поведением адсорбционно-активных примесей на разных этапах технологического процесса существенную помощь оказывает метод электронной металлографии и фрактографии.

Донецкий государственный
университет

Поступило
16 VII 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. И. Архаров, Т. Е. Константинова и др. Кузнечно-штамповочное производство, № 5 (1972). ² В. И. Архаров, Тр. Инст. физ. мет. Уральск. фил. АН СССР, т. 201, в. 20 (1958).