

Сергей Олегович Морозов^{1*}, Михаил Александрович Филиппов¹, Юрий Станиславович Коробов²

¹«УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия,

² Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН

*s.o.morozov@urfu.ru

РЕЛАКСАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ С ПРОТЕКАНИЕМ МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В СТАЛИ 50АХ18

Получение равнопрочного материала при выполнении сварки и наплавки высокопрочной легированной среднеуглеродистой сталью с высокой способностью к деформационному упрочнению при динамическом нагружении и возможностью релаксации напряжений при сварке во избежание образования холодных трещин в сварном шве. Эти качества предполагается обеспечить стали за счёт способности металла шва к мартенситному превращению при деформации.

Ключевые слова: метастабильный аустенит, среднеуглеродистая сталь, мартенсит, наплавка.

Sergey O. Morozov¹, Mikhail A. Filippov¹, Yriy S. Korobov²

¹"UrFU named after the first President of Russia B.N. Yeltsin", Yekaterinburg, Russia,

² M.N. Mikheev Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

RELAXATION OF STRESS DURING MARTENSITIC TRANSFORMATION IN STEEL 50AX18

Obtaining an equal strength material when welding and surfacing high-strength alloyed medium-carbon steel with high ability to strain hardening under dynamic loading and the possibility of stress relaxation during welding to avoid the formation of cold cracks in the weld. These qualities are supposed to be provided by the ability of the weld metal to martensitic transformation during deformation.

Key words: metastable austenite, Medium carbon steel, Martensite, Surfacing.

При использовании наплавочных материалов необходимо обеспечить релаксацию напряжений в сварном шве чтобы избежать холодных трещин, дополнительная способность материала к деформационному упрочнению при динамическом нагружении делает задачу ещё более интересной. Предполагается обеспечить данные свойства при использовании материала с метастабильным аустенитом с возможностью инициации мартенситного превращения при деформации.

Химический состав стали переходного класса выбран на основе системы Fe-Cr-C, с учётом диаграммы Я.М. Потака и Сагалевиц, позволяющей с допустимой точностью прогнозировать фазовый состав сплавов, и привлечением литературных данных по влиянию легирующих элементов (C, Cr) на температуры Мн и Мд [1-3], для обеспечения прохождения

мартенситного превращения в основном при нагружении. Основной состав стали 50AX18, обеспечен в том числе присадками азотированного феррохрома. В качестве метода нанесения была использована лазерная наплавка, из-за скорости изменения температуры и ограниченности зоны термического влияния.

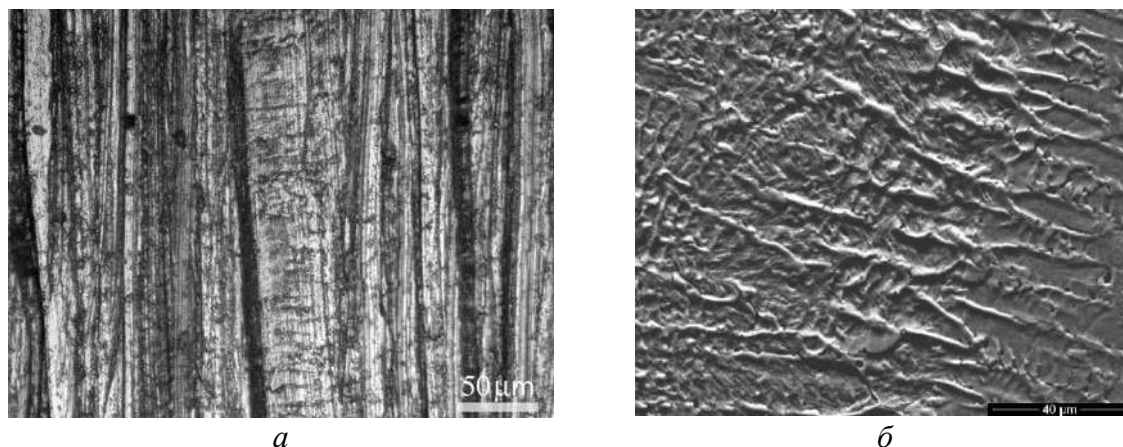


Рис. 1. Сплав 50AX18: а - Микроструктура поверхности; б – рельеф поверхности

Изучение микроструктуры и микротвёрдости фаз показало, что в образце присутствуют зерна аустенита с микротвёрдостью (HV_{50}) на уровне 2950 МПа, пластины мартенсита (микротвёрдость 4840 МПа) и включения феррита (микротвёрдость 2000 МПа), расположенные по границам зерен аустенита. На микроструктуре (рис. 1а) видны группы параллельных полосок шириной около 1 мкм и длиной в пределах ширины царапины от прохода одной абразивной частицы, расположенные перпендикулярно или под большими углами по отношению к направлению движения частиц. Это объясняется образованием кристаллов фрикционного мартенсита.

Трибологические испытания опытной стали в сравнении с эталоном в виде стали Гадфильда и образцом перлитной стали 50X2М, показали превосходство относительной износостойкости 50AX18 в условиях испытания, метастабильная сталь продемонстрировала на 46 % меньше потерь массы, в сравнении с 110Г13Л. Сталь 50X2МЛ теряет при тех же условиях на 21 % массы больше в сравнении с эталоном, разница между сталями 50AX18 и 50X2М составляет 67 %.

Рентгенограммы снятые до и после трибологических испытаний (рис. 2), подтверждают метастабильность стали 50AX18 при нанесении с помощью лазерной наплавки. Исходное количество аустенита (около 50 %) уменьшается с ростом содержания мартенсита.

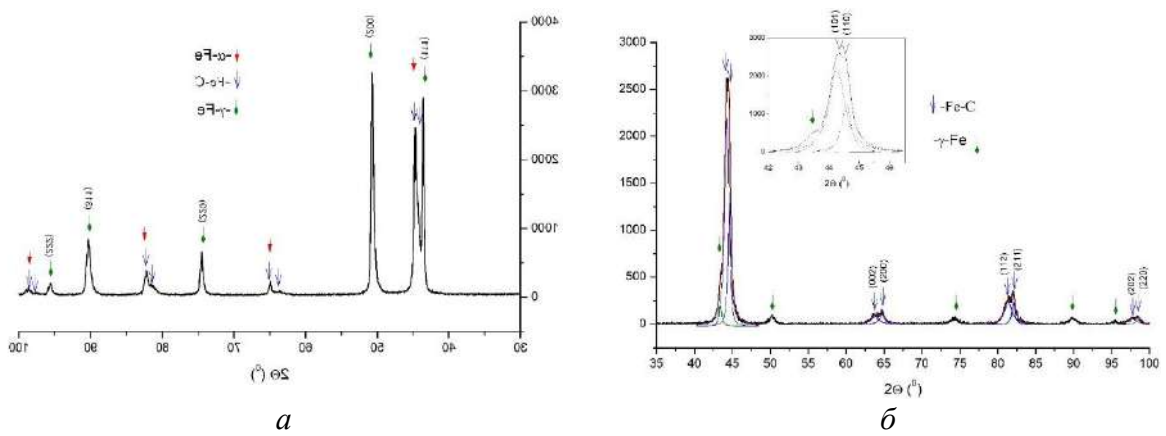


Рис. 2 Дифрактограммы поверхности стали 50AX18: исходная (а); после трибологических испытаний (б)

Мартенситное превращение не заканчивается выше комнатной температуры, зарегистрировано «квазивязкое» состояние в момент бездиффузионной перестройки кристаллической решётки (рис. 3). На графике продемонстрированы особенности формирования напряжений первого рода в образцах. Быстрое охлаждение вызывает упругую деформацию до определённых значений, соответствующих точке M_k^σ , активирующих мартенситное превращение, во время которого происходит резкое уменьшение напряжений в процессе релаксации напряжений, после чего идёт дальнейший их рост.

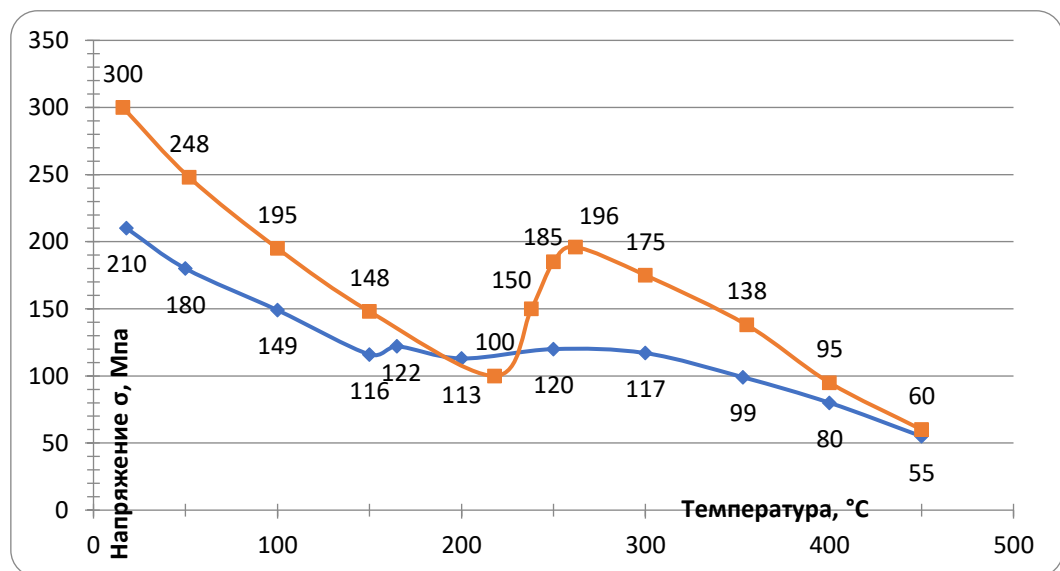


Рис. 3. Величина напряжений в процессе охлаждения жестко закреплённых образцов в сталях 50AX18 (1) и 50X2M (2)

Сталь 50AX18 обладает важным свойством для сварочных материалов - релаксацией фазовых и тепловых напряжений в жестко закрепленном состоянии. Поэтому использование шва, содержащего метастабильный аустенит (50AX18), снижает риск холодного растрескивания в сравнении с

перлитной сталью. Кроме того, пластичный δ -феррит образуется вдоль границ зерен аустенита, являющихся местами мартенситного превращения, когда δ -феррит отсутствует. Это дополнительно снижает опасность возникновения холодных трещин при сварке или наплавке стали 50X18. Сталь 50AX18 в метастабильном состоянии структуры показывает высокие параметры износостойкости и благодаря экономичному легированию может конкурировать со сталью Гадфильда.

Благодарим С.Х. Эстемирову за проведение рентгеноструктурного анализа

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Потак Я. М. Высокопрочные стали. / Я.М. Потак. М.: Metallurgy, 1972. 208 с.
2. Филиппов М. А. Стали с метастабильным аустенитом / М. А. Филиппов, В. С. Литвинов, Ю. Р. Немировский. М. : Metallurgy, 1988. 256 с.
3. Филиппов М. А. Износостойкие стали для отливок. / М. А. Филиппов, А. А. Филиппенков, Г. Н. Плотников. М.: Metallurgy, 2009. 358 с.

REFERENCES

1. Potak Y.M. High-strength steels. -M.: Metallurgy, 1972. 208 с.
2. Filippov M. A. Steels with metastable austenite / M. A. Filippov, V. S. Litvinov, Y. R. Nemirovskiy. M. Metallurgy, 1988. 256 с.
3. Filippov M. A. Wear-resistant steels for castings. / M. A. Filippov, A. A. Filippenkov, G. N. Plotnikov. Moscow: Metallurgy, 2009. 358 с.