

УДК 621.

В. И. Савуляк, д. т. н., проф.; А. А. Личман**УЛУЧШЕНИЕ СТРУКТУРЫ НАПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ
ВИБРОУДАРНОЙ ОБРАБОТКОЙ**

В работе проведен анализ возможности улучшения структуры нанесенных наплавкой покрытий путем объединения виброударной обработки с температурным воздействием. Минимизацию энергетических затрат и экономичность технологии предложено обеспечить за счет использования тепла, выделяемого в процессе нанесения покрытия от сварочной дуги. Анализ известных выполненных исследований и результатов работ авторов статьи позволяет утверждать о перспективности исследования в научном и прикладном аспектах для обеспечения качества деталей машин и конструкций.

Ключевые слова: покрытие, наплавка, структура, виброударная ультразвуковая обработка, принцип Шарпи, износостойкость.

Введение. Экономичность, доступность и универсальность – вот основные критерии, характеризующие мелкосерийное и единичное производства. Но себестоимость готовой продукции таких предприятий в разы дороже по сравнению с массовым производством. Стоимость универсального технологического оборудования в разы превышает стоимость узкоспециализированного. Количество технологических операций, отсутствие конвейерных или поточных линий также достаточно существенно влияет на ценообразование. Но спрос на рынке меняется из года в год и адаптировать массовое производство к новым условиям становится все труднее, а универсальность мелкосерийных предприятий позволяет провести переоборудование гораздо быстрее, поэтому разработка новых универсальных методов производства или объединение существующих и создание на их базе гибридных методов обработки деталей в наше время являются весьма актуальными.

Цель работы – анализ возможности улучшения структуры нанесенных наплавкой покрытий путем объединения виброударной обработки с температурным воздействием.

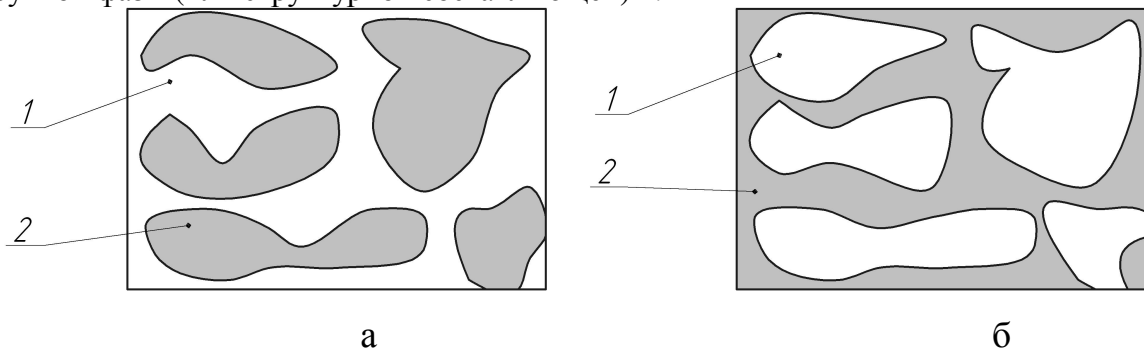
Результаты исследований и их обсуждение. Основными составляющими долговечности деталей являются материалы, из которых они изготовлены, и методы их обработки. Использование дорогих легированных марок сталей, имеющих необходимые технические характеристики, частично позволяет решить эту проблему, но стоимость этих материалов ставит под сомнение целесообразность их использования. А так как необходимые свойства этих сплавов не используют в полном объеме детали, а только в поверхностных слоях, то большинство высокопрочного легированного материала детали логично заменить на менее затратный материал – углеродистые стали – с их последующим поверхностным упрочнением. Такие методы поверхностного упрочнения, как цементация и азотирование являются весьма длительными процессами и имеют значительные конструктивные ограничения. Использование традиционных методов поверхностного пластического деформирования (в частности обработка давлением и виброударная обработка) не всегда дает ожидаемые результаты, и обычно их недостаточно для того, чтобы получить необходимую прочность поверхностного слоя. Термические методы укрепления (закалка, отжиг, старение и др.) являются перспективными, но имеют конструктивные ограничения. Также такие методы укрепления не используют для низкоуглеродистых сталей.

Использование углеродистых сталей с последующим нанесением на рабочие поверхности деталей композиционных материалов позволяет значительно сократить затраты на материалы и получить необходимую износостойкость и прочность, а дальнейшая обработка давлением обеспечит инвертированную структуру полученного покрытия.

Но следует отметить, что износостойкость и конструктивная прочность материалов, в

которых реализован композиционный принцип укрепления твердыми включениями (карбидами, боридами, силицидов и др.), существенно зависят от структурного состояния [1, 2]. Композиционные материалы, в которых реализован структурный принцип Шарпи, имеют лучшее сопротивление к износу трением и усталостную прочность.

На рис. 1 представлена схема микроструктуры композиционного материала, состоящего из двух составляющих: мягкой, но ударопрочной фазы 1 и твердой износостойкой, но более хрупкой фазы (или структурной составляющей) 2.



1 – мягкая пластическая фаза; 2 – твердая износостойкая фаза
 Рис. 1. Схема составляющих компонентов композиционного материала

Случай, когда принцип Шарпи реализуется, показано на рис. 1, а. Кристаллы твердой, но износостойкой фазы 2 окружены вязкой матрицей 1 и не контактируют между собой. Такое расположение является оптимальным, и в этом случае положительные свойства составляющих компонентов используются в полной мере, а отрицательные – нивелируются: твердая фаза 2 противодействует деформациям и износу, а мягкая ударопрочная фаза 1 удерживает от выкрашиваемости частицы фазы 2, а также противодействует распространению микротрещин образующихся в структуре твердой фазы 2.

Противоположный случай (рис. 1, б) иллюстрирует негативное сочетание свойств фаз 1 и 2. Доли мягкой фазы 1 изолированы друг от друга сплошной сеткой хрупкой фазы 2, которая является идеальным проводником для распространения микротрещин. Под действием внешних нагрузок микротрещины перерастают в непрерывную трещину, что приводит к разрушению детали.

Структура, показанная на рис. 2, иллюстрирует случай, когда принцип Шарпи не реализуется: в эвтектическом нелегированном белом чугуна структура ледебурита обычно состоит из цилиндрических прутков аустенита, превращающегося при охлаждении в перлит или феррит. Хотя количество такого аустенита достигает около 50% (а в доэвтектических чугунах оно еще выше), его пластические свойства не могут быть реализованы в полной мере из-за того, что эти прутки изолированы друг от друга сплошной матрицей с ледебуритного цемента.

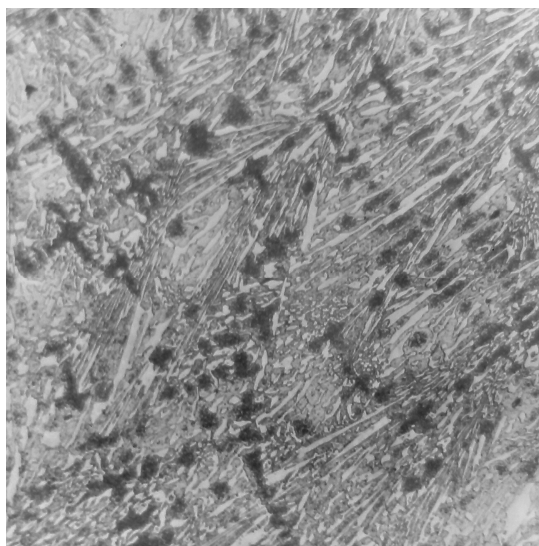


Рис. 2. Чугун с ледебуритной матрицей

Такая структура не может быть исправлена ни одной термической обработкой, но добавление легирующих элементов, таких как Ti, V, Cr и др. позволяет получить глобулярную структуру включений, окруженных ферритной матрицей (рис. 3). Трещины, возникающие в хрупких включениях под влиянием внутренних напряжений, дальше не распространяются, а высокая пластичность и свариваемость феррита способствуют их самозалечиванию.

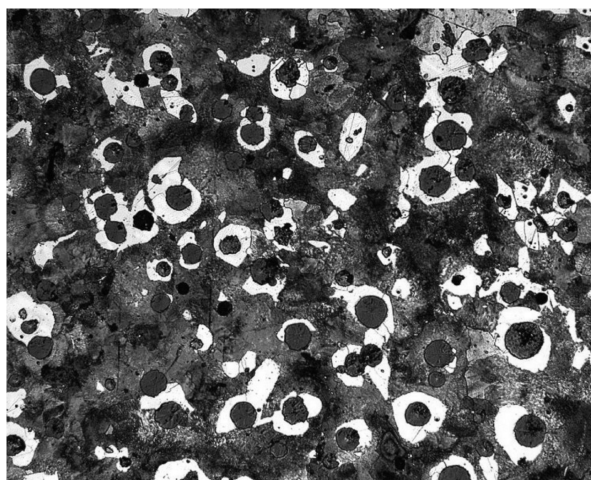


Рис. 3. Структура сплава со структурой по принципу Шарпи

Но, как показывает практика предыдущих исследований [3], для получения требуемых характеристик одного легирования недостаточно. Использование легирования вместе с пластической деформацией дает значительно лучшие результаты и в полной мере обеспечивает качественно лучшие характеристики высокоуглеродистых сплавов. С помощью пластической деформации можно один и тот же сплав инвертировать из структуры, которая не соответствует принципу Шарпи (рис. 1, б), в структуру, полностью соответствующей такому принципу рис. 1, а.

Хорошие результаты можно получить благодаря использованию комбинированных методов локального нагрева поверхностного слоя с одновременной ультразвуковой обработкой подогретого слоя (рис. 4).

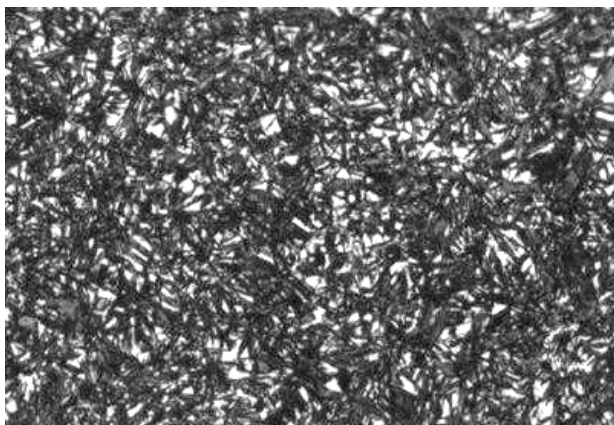


Рис. 4. Мелкозернистая структура стали

В исследованиях [4] теоретически доказано и практически подтверждено значительное улучшение микроструктуры поверхностного слоя стали 12ХМФ за счет измельчения зерен карбидов хрома: в исходном состоянии их размер составлял ≈ 350 нм, а после комбинированной обработки (лазерное облучение + ультразвуковая обработка) образовалась ультрадисперсная структура с размерами зерна ≈ 80 нм, границы которой заблокированы большим количеством вторичных дисперсных карбидов с размерами ≈ 20 нм. Также эти исследования показали, что при использовании описанных видов укрепления отдельно результат измельчения зерен почти в два раза меньше.

Подобные исследования относительно сварного шва проводил А. И. Пащенко [5]. Результаты показали, что обработка сварного шва поверхностной деформацией позволяет улучшить его прочность и выносливость.

Так что из вышеприведенных исследований можно сделать вывод: один и тот же химический состав стали в зависимости от методов обработки может соответствовать принципам Шарпи, или не соответствовать.

Но стоимость ультразвукового и лазерного оборудования существенно ограничивает возможности малых предприятий. Поэтому, исходя из положительного опыта сочетания методов тепловой и вибрационной обработки [4], является актуальным вопрос разработки таких методов, в которых виброударная обработка поверхностей сочетается с традиционными и доступными методами нанесения покрытия, в частности напылением и наплавкой. Также следует отметить, что нанесение покрытия на нелегированную углеродную сталь существенно уменьшает затраты на материал заготовки, а современные методы напыления позволяют получать покрытия необходимого химического состава и толщины. Анализ виброударно обработанного горячего наплавленного металла показал:

1. Пластическая деформация горячего металла снимает напряжения, возникающие во время термического воздействия.
2. Обеспечивается образования поверхности с наклепом и уменьшается пористость наплавленного металла.
3. Обеспечивается более равномерное формирование толщины нанесенного слоя.
4. Обеспечивается отделение шлака и корки, благодаря чему улучшается чистота дальнейшего наложения наплавных валков при радиальной наплавке рабочих поверхностей цилиндрических деталей.

Вывод

1. Использование углеродных конструкционных сталей в качестве основы заготовки с последующим нанесением износостойкого материала обеспечивает низкую себестоимость

производства, а комбинация этого метода укрепления с вибрационными методами поверхностного упрочнения позволяет получать покрытия с инвертированной мелкозернистой структурой.

2. Методы сочетания ультразвуковой обработки вместе с укреплением путем лазерного облучения исследованы основательно, но методы проковки с меньшими частотами и большей энергией удара наплавленного металла исследованы не в полной мере и требуют дополнительных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков А. А. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов / А. А. Жуков, Г. И. Сильман, М. С. Фрольцов. – М. : Машиностроение, 1984. – 104 с.
2. Savulyak V. I. The Structure of the cementite phase in the constructional alloys on the Fe-C base / V. I. Savulyak, A. A. Zhukov, T. F. Arkhipova // Journal "Modeling and Optimization in the Machines Bulding Field". Romanian Academy. – 1999. – V. 5. – P. 5 – 8.
3. Савуляк В. І. Підвищення зносостійкості циліндро-поршневих пар гідромашин шляхом використання високовуглецевих сплавів заліза з інвертованою структурою / В. І. Савуляк // Проблеми техніки. – 2003. – № 1. – С. 146 – 153.
4. Джемелівський В. В. Комбіноване лазерно-ультразвукове поверхнєве зміцнення деталей і можливості його використання при виробництві та ремонті обладнання / В. В. Джемелівський, Д. А. Лесик // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). ПолтНТУ. – 2014. – № 3 (42). – С. 61 – 69.
5. А. с. 111494 СССР. МКИ 21 Н 30/10. Способ проковки сварных соединений / А. И. Пашенко. – №8319/576122 ; заявл. 17.12.55 ; опубл. 1955.

Савуляк Валерий Иванович – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой технологии повышения износостойкости.

Личман Артём Анатольевич – магистрант кафедры технологии повышения износостойкости. Винницкий национальный технический университет.