

С. С. Самотугин, Д. С. Литвиненко, В. А. Мазур, В. А. Гагарин
 Приазовский государственный технический университет, Мариуполь

ПЛАЗМЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ЛЕЗВИЙНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Рассмотрен способ поверхностного упрочнения режущей кромки инструмента высококонцентрированной плазменной струей. Приведены результаты испытаний образцов на абразивную износостойкость по методике Бринелля-Хаурта при удельном давлении на образец 17,5 МПа. Также приведены результаты микрофрактографического анализа изломов. Сделан вывод об эффективности применения плазменного поверхностного упрочнения режущих кромок почвообрабатывающего инструмента.

Ключевые слова: почвообрабатывающий инструмент, плазменная струя, упрочнение

Характер и интенсивность изменения формы и размеров лезвийного почвообрабатывающего инструмента в процессе его абразивного изнашивания в значительной мере определяют ресурс почворежущих рабочих органов, а также уровень энергетических затрат и качество технологических операций, выполняемых сельскохозяйственными машинами. Работоспособность почвообрабатывающего инструмента зависит от твердости и износостойкости его рабочей поверхности, а также от внешних факторов – свойств обрабатываемой абразивной среды (почвы), ее исходной генетической однородности, влияния изменяющихся погодных условий, наличия агрессивных сред – влаги, солей и т. д. [1, 2].

Рабочие органы сельхозмашин традиционно изготавливают из средне- или высокоуглеродистых сталей марок Ст 5, Ст 6, 65Г, У8 и др. Наиболее распространенным методом их упрочнения является объемная термическая обработка – закалка+отпуск. Кроме абразивного износа, рабочие органы зачастую подвержены воздействию значительных динамических нагрузок. Поэтому отпуск в процессе объемной термообработки обычно выполняют средним или высоким (300-600 °С), чтобы обеспечить достаточную вязкость стали [1]. Повышение температуры отпуска закаленной стали приводит к пропорциональному снижению ее износостойкости. Поэтому для инструмента, работающего в условиях интенсивного ударно-абразивного изнашивания, эффективно сохранение высокой исходной вязкости основного металла и повышение износостойкости рабочей кромки методами поверхностного упрочнения, из которых (применительно к рабочим органам сельхозмашин) получили распространение: закалка ТВЧ; дуговая, газопламенная или индукционная наплавка высоколегированными материалами [1]. Перспективно также лазерное упрочнение [3]. Возможность повышения комплекса эксплуатационных свойств сталей, в том числе углеродистых, при плазменной обработке [4] по-

зволяет рекомендовать этот способ для упрочнения почвообрабатывающего инструмента.

При оптимизации технологии упрочнения лезвийного почвообрабатывающего инструмента наряду с металлографическими исследованиями проводились испытания на ударную вязкость и абразивную износостойкость образцов из стали марки 65Г в следующих структурных состояниях: нормализация (состояние поставки), объемная закалка от 850 °С в масло (базовая технология), объемная закалка с отпуском при 300 °С (1 ч), плазменное упрочнение, плазменное упрочнение с отпуском при 300 °С (1 ч). Ударная вязкость KCV определялась на стандартных образцах с V-образным надрезом, вырезанных из листового проката толщиной 10 мм. Упрочненная зона глубиной 3,0-3,5 мм располагалась на верхней грани образцов вдоль надреза. Такая конструкция образцов позволяла имитировать характер разрушения дисков в процессе эксплуатации – зарождение трещины в упрочненной зоне и последующее ее распространение в сталь с исходной структурой. На изломах испытанных образцов проводился микрофрактографический анализ на растровом электронном микроскопе РЭМ-100У. Испытания на абразивную износостойкость проводились по методике Бринелля-Хаурта при удельном давлении на образец 17,5 МПа. В качестве абразива использован корунд зернистостью 0,2-0,5 мм. Плазменная обработка плоских образцов 50x60x10 мм осуществлялась на одной из плоских граней с нанесением упрочненных зон поперек направлению трения. Коэффициент износостойкости $K_{и}$ определялся как отношение

$$\Delta P_{исх} / \Delta P_{упр}, \text{ где } \Delta P_{исх} \text{ и } \Delta P_{упр} - \text{потери в массе}$$

образцов при трении в течение 0,5 ч соответственно упрочненных и в исходном состоянии. Результаты замеров твердости и испытаний приведены в табл. 1.

Исследования показали, что сталь марки 65Г в нормализованном состоянии имеет ферритно-

Эксплуатационные свойства стали марки 65Г при различных методах упрочнения

Таблица 1 стали марки 65Г хорошо иллюстрируется результатами микрофрактографического анализа изломов (рис. 2).

| Вариант упрочнения | HV | KCV, Дж/см ² | K _и |
|-----------------------------------|---------|-------------------------|----------------|
| Нормализация (исходное состояние) | 240-255 | 20,0 | 1,0 |
| Объемная закалка | 670-690 | 7,0 | 1,22 |
| Объемная закалка + отпуск | 390-410 | 8,8 | 1,10 |
| Плазменное упрочнения | 850-870 | 9,6 | 1,65 |
| Плазменное упрочнение + отпуск | 505-520 | 11,5 | 1,36 |

перлитную структуру (рис. 1), наиболее высокую ударную вязкость и наиболее низкую твердость и износостойкость. Плазменное упрочнение способствует снижению ударной вязкости в 2 раза и повышению износостойкости на 65 %. Объемная закалка снижает ударную вязкость почти в 3 раза и повышает износостойкость лишь на 22 %.

Резкое охрупчивание стали марки 65Г после объемной закалки обусловлено получением крупноиглочатой мартенситной структуры, которая, несмотря на значительное повышение твердости, не способствует существенному повышению абразивной износостойкости. Более благоприятное сочетание эксплуатационных свойств стали марки 65Г после плазменного упрочнения обусловлено формированием в упрочненной зоне высокодисперсной мартенситной структуры (рис. 1) с твердостью, значительно превосходящей уровень, достигаемый при закалке в печи. При этом особенно важно отметить, что одновременно с повышением износостойкости происходит увеличение вязкости (по сравнению с объемной закалкой) – KCV после плазменного упрочнения на 30 % выше, чем после объемной закалки (табл. 1).

Установленный характер влияния разных методов упрочнения на эксплуатационные свойства

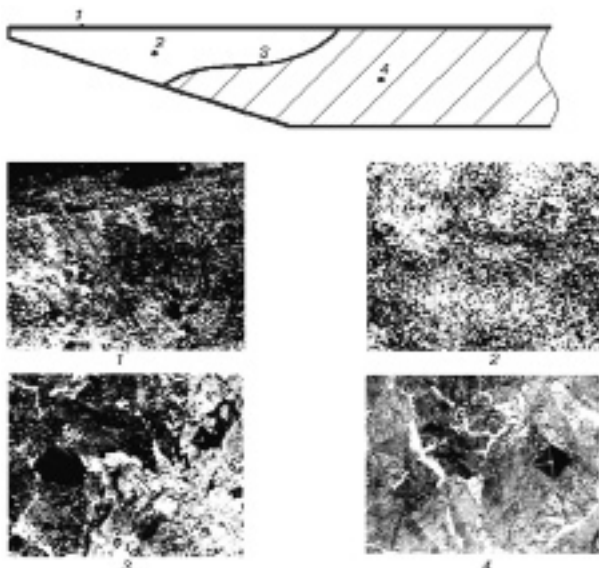


Рис. 1. Микроструктура стали марки 65Г в отдельных точках упрочненной зоны (1, 2), переходной зоны (3) и в исходном состоянии (4), x1000

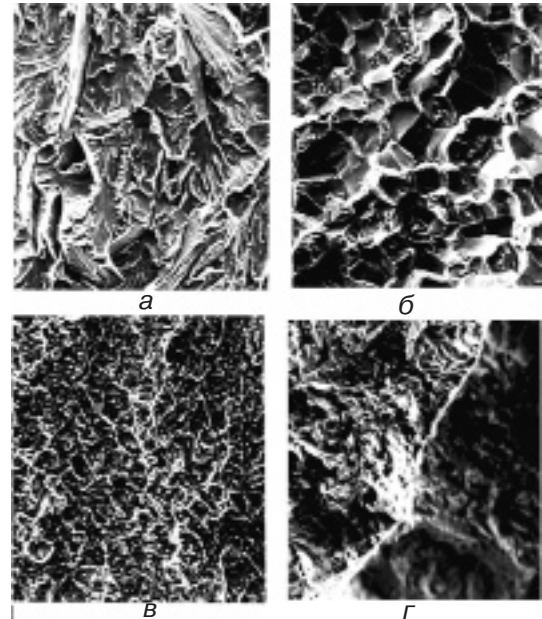


Рис. 2. Электронные микрофрактограммы изломов образцов из стали марки 65Г: а – в исходном состоянии; б – после объемной закалки; в – в зоне плазменного упрочнения; г – на границе упрочненной зоны с исходной структурой, x500

магистральной трещины. Размер фасеток скола соответствует размеру перлитного зерна. Сталь марки 65Г после закалки в печи разрушается по смешанному хрупкому микромеханизму, основной составляющей которого является интеркристаллитный скол. Это наиболее опасный механизм хрупкого разрушения. Охрупчивание сталей при закалке вызвано возникновением больших структурных микронапряжений (второго рода и локальных), а также ослаблением связей по границам действительного аустенитного зерна, вызванным выделением и осаждением частиц второй фазы – карбидов, примесей и т. п. В итоге ударная вязкость после объемной закалки (по сравнению с исходным состоянием) снижается почти в 3 раза.

При плазменном упрочнении стали марки 65Г (по сравнению с объемной закалкой) резко уменьшается размер действительного аустенитного зерна, степень дисперсности мартенсита и уровень структурных микронапряжений. В данном случае роль дефектов критического размера играют уже не границы зерен, а дисперсные мартенситные кристаллы и дисперсные выделившиеся частицы

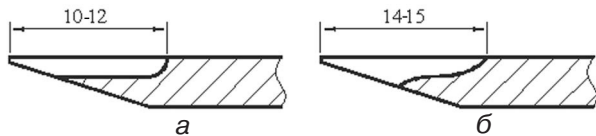


Рис. 3. Форма и размеры упрочненной зоны на режущем клинлезвийном почвообрабатывающем инструменте при упрочнении на режимах: $I = 300 \text{ А}$; $V = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ (а); $I = 400 \text{ А}$; $V = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ (б)

карбидов. Разрушение происходит по другому механизму – квазискола (рис. 2, в). Это также излом при хрупком разрушении, но характеризующийся значительно более высокой энергоемкостью. Высокая дисперсность излома свидетельствует о многочисленности актов микроразрушений. Происходит так называемое рассеяние энергии разрушения. Фрактографическим анализом на границе упрочненной зоны с исходной структурой выявлено торможение разрушения по механизму ветвления траектории трещины с образованием на изломе специфической ступени (рис. 2, г). Реализации торможения трещины способствует анизотропия вязкости разрушения на границе зон и возникновение внутренних локальных касательных напряжений [5].

Высокая хрупкость объемнозакаленных углеродистых сталей послужила основанием для рекомендаций [1] о нецелесообразности увеличения твердости свыше HRC60 (HV745) при значительных ударных нагрузках на лезвие почворежущего инструмента. Однако нанесение локального упрочненного слоя и совместное его нагружение в процессе эксплуатации с пластичным исходным металлом позволяет отойти от этой рекомендации.

Для тяжелонагруженного почвообрабатывающего инструмента (например, в условиях обработки каменистой почвы) дополнительное повышение вязкости достигается применением после плазменного упрочнения объемного отпуска. В этом случае твердость и износостойкость значи-

тельно выше по сравнению с объемной закалкой и последующим отпуском (см. табл.).

Регулирование формы и размеров упрочненной зоны за счет режимов обработки (рис. 3) позволяет при необходимости реализовать эффект самозатачивания лезвийного инструмента в процессе эксплуатации, заключающийся в таком избирательном износе неоднородного по сечению лезвия, при котором сохраняется необходимая форма и режущие свойства. Более твердый упрочненный слой изнашивается менее интенсивно и, следовательно, выступает вперед, образуя режущую кромку лезвия (рис. 3, а). Для реализации эффекта самозатачивания, согласно [1], твердость упрочненного слоя должна быть не менее, чем в 3 раза выше твердости исходного металла, что достигается при плазменном упрочнении стали марки 65Г в нормализованном состоянии.

Плазменное упрочнение лезвийного почвообрабатывающего инструмента может осуществляться как в непрерывном режиме (по периметру режущей кромки), так и с нанесением дискретных участков заданных размеров и с заданным шагом, что благоприятно сказывается на работоспособности инструмента и качестве обработки почвы.

Выводы

- Эффективным методом повышения работоспособности лезвийного почвообрабатывающего инструмента является поверхностное упрочнение режущей кромки высококонцентрированной плазменной струей. По сравнению с объемной закалкой в печи при этом достигается одновременное повышение твердости, износостойкости и ударной вязкости.

- Нанесение на режущую кромку упрочненной зоны с высокой степенью дисперсности структуры и высокой твердостью при сохранении пластичной сердцевины способствует дополнительному повышению работоспособности за счет реализации эффекта торможения разрушения на границе с исходным металлом.



ЛИТЕРАТУРА

1. Ткачев В. И. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
2. Бернштейн Д. Б., Лискин И. В. Моделирование абразивного изнашивания почворежущих лезвий // Трение и износ. – 1993. – Т.14. – № 6. – С.1025-1036.
3. Алискин В. В. Повышение износостойкости вариаторов хода зерноуборочных комбайнов лазерной закалкой // Повышение надежности и долговечности деталей сельскохозяйственных машин методами термической и химикотермической обработки. – М.: НТО Машпром, 1981. – С. 82.
4. Лещинский Л. К., Самотугин С. С., Пирч И. И., Комар В. И. Плазменное поверхностное упрочнение. – Киев: Техника, 1990. – 109 с.
5. Самотугин С. С. Особенности торможения разрушения в слоистых композиционных материалах, полученных наплавкой или поверхностной закалкой // Физика и химия обработки материалов. – 1998. – № 1. – С. 64-69

САМОТУГІН С. С., ЛИТВИНЕНКО Д. С., МАЗУР В. О., ГАГАРІН В. О. Плазмове зміцнення лезового ґрунтообробного інструменту

Розглянуто поверхневе зміцнення ріжучої кромки інструменту висококонцентрованим плазмовим струменем. Наведено результати випробувань зразків на абразивну зносостійкість за ме-

тодікою Бринелля-Хаурта при питомому тиску на зразок 17,5 МПа. Також наведено результати мікрофрактографічного аналізу зламів. Зроблено висновок про ефективність застосування плазмового поверхневого зміцнення ріжучих кромок ґрунтообробного інструменту.

Ключові слова: ґрунтообробний інструмент, плазмовий струмінь, зміцнення

SAMOTUGIN S., LITVINENKO D., MAZUR V., GAGARIN V. Plasma hardening of cutting edges of soil-cultivating tool

The article presents a method of surface hardening the cutting edge of tool by high concentrated plasma stream. Results of testing the samples on the abrasive wear resistance by the method Brinell-Howorth with the specific pressure on the sample in 17,5 MPa. Also, the results of the analysis mikrofraktografic breaks were given. The conclusion about the effective of plasma surface hardening of the cutting edge of soil-cultivating tools was done.

Keywords: soil-cultivating, tool, plasma stream, hardening

УДК 621.7

С. З. Стасюк

Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, Киев

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ХРОМОМОЛИБДЕНОВЫХ СТАЛЕЙ В КОНСТРУКЦИИ ПЕЧНЫХ ЗМЕЕВИКОВ ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА И ГИДРООЧИСТКИ

Исследованы механические свойства основного металла и сварных соединений труб змеевика трубчатой печи установки каталитического риформинга, выполненных из хромомолибденовых сталей марок 12CrMo19.5 и 15X5M-U. Показано, что длительная эксплуатация материала в условиях взаимодействия с водородсодержащей средой привела к резкому падению ударной вязкости сварных швов и их хрупкому разрушению при комнатной температуре.

Ключевые слова: хромомолибденовые стали, водородная коррозия, трубчатая печь, лабораторные исследования, механические характеристики, основной металл, сварные соединения

Установки каталитического риформинга представляют собой комплекс процессов, включающих гидроочистку сырья, каталитический риформинг и стабилизацию конденсата. В состав установок входит большое количество разнообразного и сложного оборудования, в том числе реакторные блоки с отделением трубчатых печей, эксплуатирующиеся при повышенных давлениях и температурах. Это оборудование подвергается воздействию агрессивных газовых сред, содержащих водород и сероводород. Такое воздействие в определенных условиях приводит к водородной коррозии, проявляющейся в изменении структуры металла, деградации механических характеристик [1-3], что повышает опасность возникновения разрушения конструкции при гидравлических или пневматических испытаниях во время технических освидетельствований.

Трубчатые печи являются одним из основных аппаратов, определяющих производительность установок. Тепловой режим работы трубчатых печей колеблется в пределах от 350 до 450 °С для змееви-

ков сырьевых печей и повышается до 470-515 °С для змеевиков промежуточных печей процессов риформинга.

Радиантно-конвекционная трубчатая печь П-1 установки каталитического риформинга и гидроочистки ЛГ-35-11/300 состоит из четырех рядом расположенных радиантных камер и примыкающей к ним общей конвекционной камеры. В каждой радиантной камере размещено по два змеевика из десяти труб размером 219x12 мм, соединяемых между собой коллекторами Ду 200; материал труб радиантной камеры и коллекторов – сталь марки 15X5M. Змеевик конвекционной камеры выполнен из стали марки 12CrMo19.5 TGL 15089 (немецкий аналог стали отечественного производства марки 15X5 M); размер труб змеевика 219x12 мм. Заметим, что в трубчатых печах производится нагрев смеси сырья с циркулирующим газом и, кроме того, промежуточный подогрев парогазовых потоков между реакторами. Тепловой режим работы трубчатой печи приведен в табл. 1.

Среднелегированные хромомолибденовые