

**С.Д. Неулыбин, Д.С. Белинин, П.С. Кучев, А.Ю. Шилов**  
**S.D. Neulybin, D.S. Belinin, P.S. Kuchev, A.Y. Shilov**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Perm National Research Polytechnic University

## **КОМБИНИРОВАННЫЕ ВАРИАНТЫ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ НА ТОКЕ ПРЯМОЙ ПОЛЯРНОСТИ**

### **COMBINED PLASMA HARDENING OPTIONS TO CURRENT STRAIGHT POLARITY**

Рассмотрена возможность получения упрочненных слоев с уникальными характеристиками методом плазменной поверхностной закалки на токе прямой полярности. Предложены и описаны новые комбинации вариантов обработки. Приведены микро- и макроструктуры упрочненного слоя, их описание и прочностные характеристики.

**Ключевые слова:** плазма, поверхностная закалка, твердость, микроструктура.

The technology of reinforced layers with unique characteristics by means of plasma surface hardening on reverse polarity described in this paper. Proposed and described new combinations of treatment options. Shows the micro- and macro-hardened layer, the description and strength properties.

**Keywords:** plasma, surface hardening, hardness, microstructure.

Для повышения работоспособности деталей и изделий в настоящее время основным способом упрочнения является объемная термическая обработка. При назначении оптимальных режимов закалки и отпуска достигаются стандартные значения эксплуатационных свойств изделий из инструментальных сталей и сплавов. Однако практически всегда термообработка на максимальную твердость и износостойкость приводит к резкому снижению вязкости и, как следствие, к преждевременному выходу узла из строя по причине хрупких разрушений.

Повышение эксплуатационных свойств инструментальных материалов возможно также при использовании способов поверхностного упрочнения – индукционной закалки, химико-термической обработки, нанесения покрытий.

Качественно новый уровень эксплуатационных свойств инструментальных материалов достигается при обработке высококонцентрированным источником энергии – плазменной дугой прямого действия [1].

Технологический процесс плазменного поверхностного упрочнения изделий в общем случае включает в себя следующие операции: 1) подготовка изделия к упрочнению; 2) плазменное упрочнение; 3) контроль качества упрочнения (замеры твердости, механические испытания, металлографические исследования образцов-свидетелей); 4) окончательная термическая или механическая обработка.

Накопленный опыт по практическому применению плазменного поверхностного упрочнения позволяет выделить следующие традиционные варианты: упрочнение без оплавления и с оплавлением поверхности детали; упрочнение с зазором между упрочненными зонами (ЗТВ), без перекрытия ЗТВ и с перекрытием ЗТВ; химико-термическая плазменная обработка; упрочнение в сочетании с другими способами объемной или поверхностной термической обработки [2].

Мы исследовали некоторые нетрадиционные (комбинированные) варианты [3] плазменного поверхностного упрочнения применительно к сталям мартенситного класса типа 40X13 с целью получения слоев с уникальными характеристиками. Были выбраны следующие варианты: 1) закалка с оплавлением поверхности без зазора и перекрытия ЗТВ с последующим переплавлением обработанной поверхности на более жестком режиме; 2) закалка с оплавлением поверхности и с зазором между ЗТВ с последующим повторным проходом без плавления в зазоре между ЗТВ; 3) закалка с оплавлением поверхности без перекрытия и без зазора ЗТВ и последующим повторным проходом без плавления по обработанной поверхности [4].

Были опробованы все три предложенных варианта. Методом электроэрозивной резки приготовили образцы для металлографического исследования с целью определения характеристик закаленных слоев.

Для металлографического исследования данных образцов были приготовлены микрошлифы, при изготовлении и анализе которых использовалось следующее оборудование: микроскоп Axiovert 40 MAT, заливочный пресс Лесо PR-32, шлифовальный станок SIS 1000. Травление полученных образцов осуществлялось 4%-ным раствором азотной кислоты в спирте.

Проведя металлографическое исследование и замеры микротвердости полученных образцов, установили следующее. 1. Для образца, полученного по первому варианту (рис. 1), глубина упрочненного слоя составляет 8,0 мм, ширина прохода 12–14 мм, усиление около 1,0 мм, в центральной части закаленных полос у поверхности наблюдается наличие мелких усадочных рыхлот. Растрескиваний, несплавлений, пор в обработанной зоне нет. Структура основного материала образца представляет собой феррито-карбидную смесь. Структура характерна для данного материала в состоянии после отжига либо высокого отпуска. Структура закристаллизовавшейся сварочной ванны представляет собой структуру мартенситного типа с выделениями карбидной

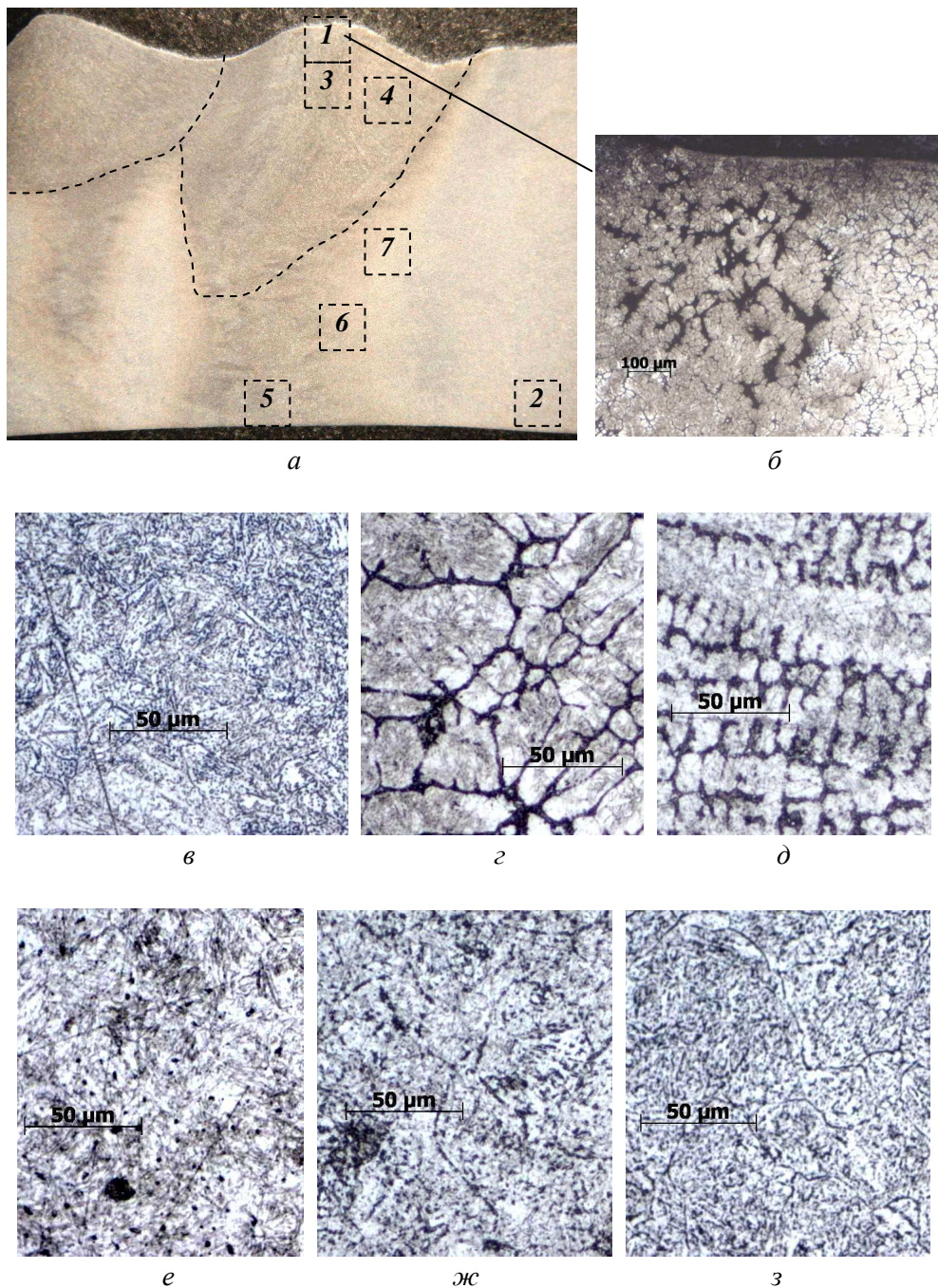
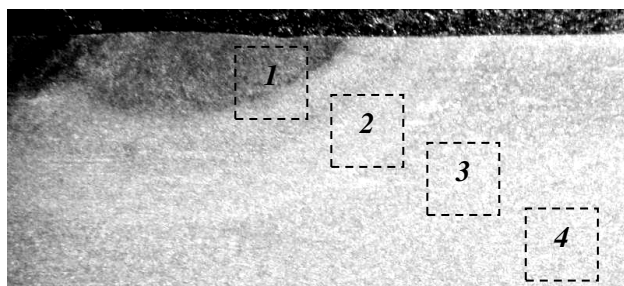


Рис. 1. Вид макро- (а) и микроструктуры образца № 1: б – участок 1; в – участок 2; г – участок 3; д – участок 4; е – участок 5; ж – участок 6; з – участок 7

сетки в осях дендритов. В ЗТВ наблюдается структура от мартенсита (у границы сплавления и в зоне высокотемпературного нагрева под сварочной ванной) с переходом к структуре мартенситного типа с выделениями карбидов и феррито-карбидной смеси в зоне перехода к основному материалу.

2. Для образца, полученного по второму варианту (макрошлиф и фрагменты травленного микрошлифа, рис. 2), усиления нет, ширина прохода 5–7 мм, глубина проплавления 1,4–2,0 мм. Структура основного материала аналогична образцу № 1. Структура закристаллизовавшейся зоны представляет собой структуру бейнитного типа с включениями свободного феррита и выделениями карбидной фазы по границам кристаллитов. На границе сплавления – структура бейнитного типа с мелкими включениями свободного феррита. В зоне повторного прохода – структуры мартенсита отпуска с плавным переходом к структуре основы.



*a*

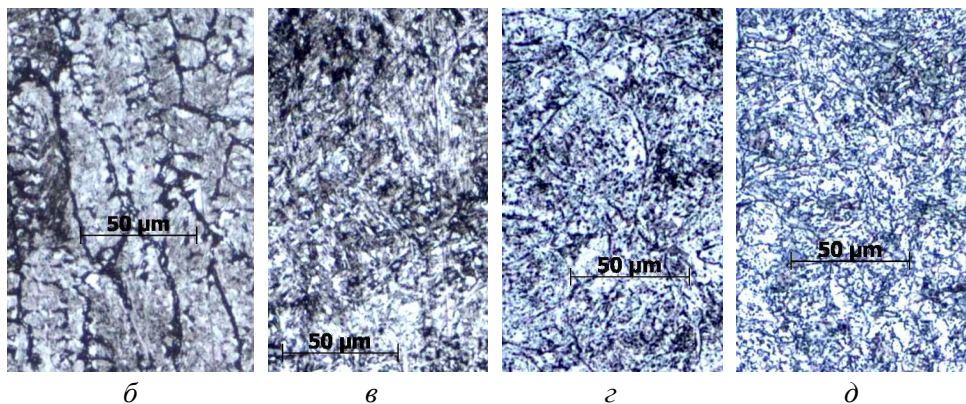
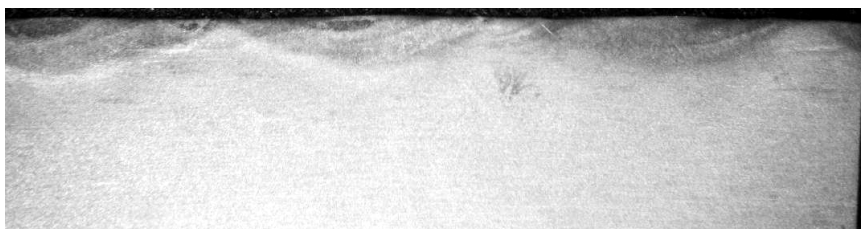
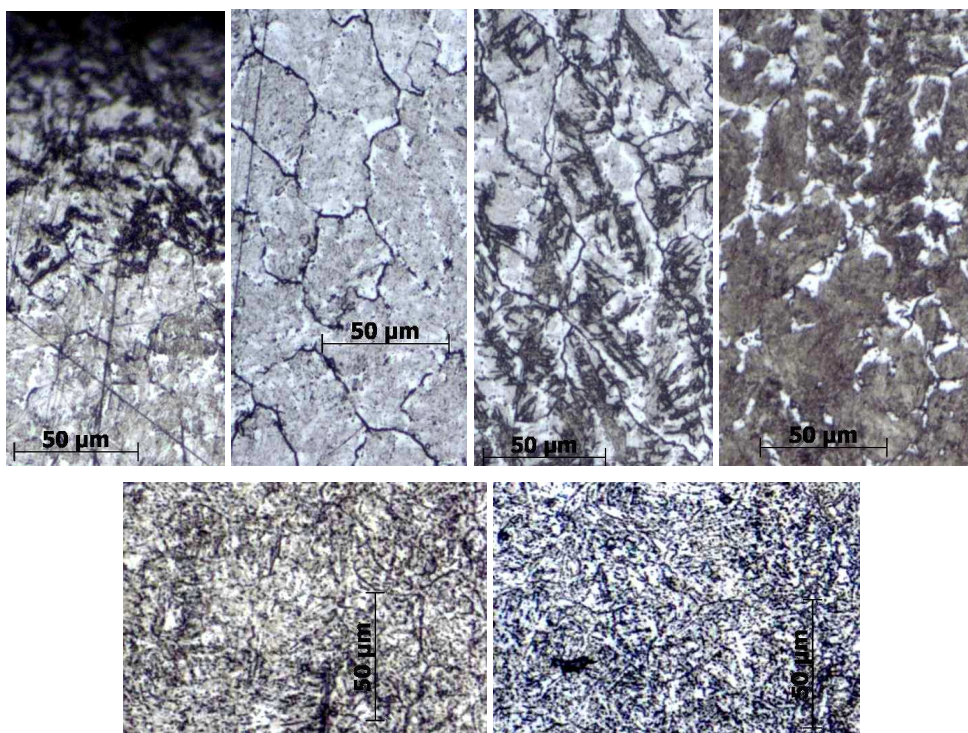


Рис. 2. Вид макро- (*a*) и микроструктуры образца № 2: *б* – участок 1; *в* – участок 2; *г* – участок 3; *д* – участок 4

3. Для образца полученного по третьему варианту (рис. 3), усиление составляет менее 0,1 мм, ширина прохода 7,5–9,0 мм, глубина проплавления 2,1–3,3 мм. Структура основного материала аналогична образцам № 1, 2. Структуры бейнитного типа наблюдаются в приповерхностной зоне закаленной дорожки (очевидно, в дорожке повторного прохода) и в шве первого прохода. Структура остальной части закаленной дорожки второго прохода – мартенситного типа с выделениями карбидов по границам первичного зерна и участками выделений феррита. В переходной зоне – структура мартенсита отпуска с плавным переходом к структуре основы.



*a*



*b*

Рис. 3. Вид макро- (*a*) и микроструктуры (*b*) образца № 3

Значения микротвердости основных зон упрочненных слоев представлены в таблице.

Микротвердость основных зон упрочненных слоев

Номер образца	Микротвердость по зонам $H_{\mu 50}$ , кгс/мм <sup>2</sup>			
	Зона кристаллизации расплавленной ванны	ЗТВ у границы сплавления	ЗТВ	Основной материал
1	Центральная зона шва 310–506, остальная часть 535–715	488	426–486	201–207
10	413–489	358–484	206–415	209–225
14	432–507	411–468	187–468	187–193

Исходя из анализа микротвердости, можно сделать вывод о том, что твердость в обработанной зоне гораздо выше твердости основного материала. Однако в случаях повторного прохода (повторного нагрева) происходит незначительное разупрочнение центральной приповерхностной области обработанной зоны. В остальном же распределение значений микротвердости равномерное, с плавным переходом к значениям твердости основного металла.

Сделаем следующие выводы:

1. Применение комбинированных способов плазменной поверхностной закалки на токе прямой полярности позволяет получать упрочненные слои глубиной около 8 мм с равномерно распределенными по сечению прочностными свойствами.

2. Значения твердости упрочненных зон возрастают в 2–3 и более раз в зависимости от способа обработки.

3. Наличие бейнитной структуры в результате некоторых вариантов обработки сдерживает применение такой технологии к деталям, работающим в условиях динамического и циклического нагружения, из-за высокой хрупкости бейнитной структуры.

### Список литературы

1. Влияние технологии поверхностного упрочнения высококонцентрированным источником нагрева на структуру и трещиностойкость наплавленного металла и углеродистых сталей / Л.К. Лещинский [и др.] // Сварочное производство. – 1987. – № 5. – С. 3–5.

2. Плазменное поверхностное упрочнение / Л.К. Лещинский [и др.]. – Киев: Техника, 1990. – 109 с.

3. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами / А.Г. Бойцов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1994. – 144 с.

4. Щицын Ю.Д. Плазменные технологии в сварочном производстве: учеб. пособие для вузов / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2004. – Ч. 1. – 72 с.

Получено 18.10.2012

**Неулыбин Сергей Дмитриевич** – магистрант, ПНИПУ, МТФ, ТСП-12м,  
e-mail: Sn-1991@mail.ru

**Белинин Дмитрий Сергеевич** – аспирант, ПНИПУ, МТФ, e-mail:  
5ly87@mail.ru.

**Кучев Павел Сергеевич** – аспирант, ПНИПУ, МТФ, e-mail:  
kuchev.p@gmail.com.

**Шилов Алексей Юрьевич** – магистрант, ПНИПУ, МТФ, ТСП-11м,  
e-mail: shilovalex90@gmail.com.