

В.А. Сошко, к.т.н., доц.

Е.Э. Бергер, к.т.н., доц.

Херсонський національний технічний університет

Механоплазменная обработка – пример использования наноматериала на практике

Особенность механоплазменной обработки заключается в том, что материал перед лезвием инструмента, который подлежит снятию, приобретает в процессе резания низшие механические характеристики, чем начальной обрабатываемый металл. Поэтому работа, которую необходимо затратить для образования стружки значительно меньше, чем при обычной технологии.

Ключевые слова: плазменный эффект; формообразование; водород; полимеры; термодиффузионное насыщение; химико-термическая обработка.

Необходимость непрерывного обновления технологий в связи с новыми усложняющимися задачами, которые ставит перед наукой практика, требуют не только системной работы над получением новых материалов с необходимыми свойствами, но и разработку новых подходов к созданию технологий их обработки. Среди таких подходов к разработке инновационных способов повышения эффективности формообразования деталей машин можно выделить способ механоплазменной обработки (МПО) [1].

Формообразование деталей по этому способу производится путем отделения материала от заготовки в результате совместного воздействия на металл механической энергии и плазмы - радикально активных частиц водорода, обладающих положительным электрическим зарядом. Согласно предложенного механизма, для образования в зоне разрушения плазменного эффекта в смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) дополнительно вводят полимер, например 1.5% полиэтилена. Под влиянием тепловых, электрических и магнитных полей, которые в системе "станок-приспособление - инструмент - деталь" являются постоянным спутником разрушения, образуется ионизированный газ обычно представляющий собой смесь трех сортов частиц: электронов, однократно заряженных положительных ионов и нейтральных молекул взаимодействие образовавшегося радикально активного наноматериала с реальной структурой твердого тела способствует облегчению деформации и разрушению. Отсюда следует вывод имеющий огромное практическое значение: для радикального повышения эффективности СОТС присадки к ним следует искать среди высокомолекулярных соединений, дающих в цепи химических превращений в зоне резания большую концентрацию активных форм водорода и углерода[2].

На основе этих рекомендаций были разработаны составы СОТС нового поколения, которые успешно применялись в различных технологических процессах обработки твердых тел в различных отраслях промышленности[3]. Серийное производство различных СОТС, обеспечивающих механоплазменную обработку металла в течении нескольких лет проводили предприятия Украины и Белоруссии: Калужское ПО «Хлорвинил», Дрогобычский нефтеперерабатывающий завод, НПО «Масма», Львовский нефтеперерабатывающий завод и Новополоцкий химкомбинат.

Ниже приведены некоторые результаты механоплазменной обработки.

1. Формообразование деталей посредством удаления с заготовки слоя металла.

Таблица 1

Технологическая эффективность МПО резанием по сравнению с обычной обработкой

| Операция | Обрабатываемый материал | Марка инструмента льного материала | Эффективность | | Примечание |
|-----------|-------------------------|--|---------------------------------------|--|--|
| | | | повышение стойкости инструмента | улучшение ка- чества обработки (0%, снижения параметра шероховатости Ra) | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Сверление | Стали: | Быстрорежущая сталь | | | При повышении скорости резания на 20% стойкость металлорежущего инструмента не изменилась, затрачиваемая мощность на обработку |
| | 12X13Г18Д | То же | 2,0—3,0 | 70 | |
| | X18H10 | —«— | 2,0—3,0 | 70 | |
| | 12X18H10T | —«— | 3,0—4,0 | 80 | |
| | 10X14Г14H4Г | —«— | 5,0—7,0 | Без изменения | |
| | X14Г14H3T | —«— | 3,0—4,0 | То же | |
| | XBCГ | —«— | 3,3—6,0 | —«— | |
| 40X2H2MA | —«— | 2,0 | —«— | | |

| | | | | | | | |
|------------------|------------------|---------------------|-----------|---------------|---|-----------------------------------|--|
| | 40X | —«— | 2,5 | —«— | уменьшилась на 15—20 % | | |
| | 10X14Г14Н6Т | —«— | 5,8 | —«— | | | |
| | Стали 45, 20, 10 | Быстрорежущая сталь | до 7,0 | —«— | | | |
| | 38X2Н10Л | То же | 2,0—2,7 | 50 | Режимы обработки интенсифицированы на 25—55% | | |
| | Сталь 35 | —«— | 1,3—1,5 | Без изменения | | | |
| | 2X13Ш | —«— | 1,25 | То же | | | |
| | 2ХВШ | —«— | 2,4 | 50 | | | |
| | 2X13Ш | —«— | 1,58 | Без изменения | | | |
| | | ЭИ-893 | —«— | 1,36 | То же | Скорость резания повышена на 25 % | |
| | | 15ХПМФШ | —«— | 1,6 | 50 | | |
| | | 20ХГНТР | —«— | 1,5 | Без изменения | | |
| X14Н17 | | —«— | 2,5 | То же | | | |
| Резьбо-нарезание | | Сталь 20 | То же | 1,0 | То же | | Скорость резания повышена на 26% При повышении режимов резания на 20% стойкость не изменилась |
| | | X14Г14Н3Т | —«— | 4,0—5,0 | —«— | | |
| | | 10X14Г14Н4Г | —«— | 2,6—3,0 | —«— | | |
| | | 12X13Г18Д | —«— | 2,6—3,0 | 50 | | |
| | | X18Н10Т | —«— | 4,0—5,0 | Без изменения | | |
| | | X13Н10Т | —«— | 2,0—3,0 | 50 | | |
| | Сталь 45 | —«— | 1,5 | Без изменения | | | |
| | Сталь 50 | —«— | 1,27 | То же | | | |
| | Сталь автоматная | —«— | 1,48—2,0 | —«— | | | |
| | Сталь 40 | —«— | 1,5—2,1 | —«— | | | |
| Точение | Сталь 25Л | —«— | 1,0 | —«— | Интенсификация режимов обработки на 28 % | | |
| | | | | | | | |
| Точение | X24Н12СЛ | Твердый сплав | 2,5 | Без изменения | Мощность уменьшилась на 15-20% | | |
| | 12X13Г18Д | ВК8 | 2,0 – 3,0 | То же | | | |
| | 38X2Н10А | То же | 2,0 | 50 | | | |
| Точение | 20X2Н4А | То же | 3,0 – 4,0 | | Скорость резания уменьшена на 30-40% | | |
| | X14Н7 | —«— | 2,0 | | | | |
| | 35X | Быстрорежущая сталь | 2,0 | | | | |
| | 25Л | —«— | 1,0 | | | | |
| | | | | | | | |
| Фрезерование | 325Л4Н12СЛ | То же | 3,0 – 4,0 | 70 | Возможность интенсификации режима обработки на 25 – 50% | | |
| | 12X13 | —«— | 2,0 – 3,0 | | | | |
| | 12X18Н9Т | —«— | 2,0 – 2,5 | | | | |
| | X14 | —«— | 2,0 – 3,0 | | | | |
| | X18Н10Т | —«— | 4,0 | | | | |
| | X8Н10Т | —«— | 2,0 – 2,5 | Без изменения | | | |
| | 40X13 | —«— | 3,0 – 4,0 | То же | | | |
| | 20X13 | —«— | 4,0 – 5,0 | —«— | | | |
| | У8А | —«— | 2,5 – 4,0 | —«— | | | |
| | ХВГ | —«— | 4,0 – 5,0 | —«— | | | |
| | 95X18 | —«— | до 6,0 | —«— | | | |
| | | | | | | Скорость резания повышена на 24% | |
| | A12 | —«— | 4,0 – 5,0 | —«— | | | |

Из всего сказанного следует, что результаты изучения образования плазменного эффекта в зоне разрушения и его влияния на процессы деформации и разрушения, а также данные использования его в промышленности являются достаточно обнадеживающими для того, чтобы

рассматривать механоплазменную обработку формообразования деталей резанием, не только как особый высокопроизводительный и экономически

выгодный способ обработки металла, но и как эффективный способ управления эксплуатационными свойствами деталей.

Технологическая эффективность МПО при шлифовании стали 30ХГСА

| СОТС и ее концентрация | Стойкость круга | | Шероховатость обработанной поверхности R_a , мкм | Коэффициент шлифования по объему |
|---|-----------------|-----|--|----------------------------------|
| | мин. | % | | |
| Синтетические СОТС | | | | |
| 3% - ный раствор Аквол – 10 м | 3,4 | 68 | 0,90 | 59 |
| 5% - ный раствор Аквол – 10 м | 3,4 | 68 | 0,90 | 59 |
| 3% - ный раствор Аквол – 12 | 12,3 | 246 | 0,55 | 133 |
| Полусинтетические СОТС | | | | |
| 3%-ный Аквол -11 | 4,3 | 86 | 1,06 | 63 |
| 10%-ный Аквол -11 | 2,8 | 56 | 1,1 | 60 |
| Эмульсионные СОТС | | | | |
| 3%-ная эмульсия Укринола - 1 * | 5,0 | 100 | 1,05 | 66 |
| 3%-ная эмульсия Карамбола -Э1 | 12,5 | 250 | 0,66 | 200 |
| 2%-ная дисперсия концентрата ПВХ в Укриноле-1 | 28,5 | 570 | 0,6 | 187,6 |

* Базовая СОТС

2. Формообразование деталей путем обработки металла давлением.

Вывод по результатам исследований о том, что контактные взаимодействия плазменных продуктов с реальной структурой металла облегчают процесс деформации, дал основания для использования этого эффекта в технологии обработки металлов давлением (ОМД). В связи с этим были разработаны составы СОТС с добавками полимера, которые обеспечивают проявление в зоне контакта деформируемого материала с окружающей средой слабо ионизированного газа [4]. Не вызывает сомнения, что механизм активации исходной среды в данном случае отличается от механизма при резании. Однако экспериментально доказанный факт присутствия водорода в металле после ОМД, свидетельствует о том, что водород диффундирует в обрабатываемый материал в протонном состоянии. Диссоциация водорода, вероятно, происходила на каталитически активных поверхностях, образующихся в ходе механического процесса. Были разработаны составы для трубопрокатных и трубоволоочильных технологических процессов производства холоднодеформированных труб, листовой прокатки, особенно для прокатки тонкого листа из труднодеформированных сталей, холодной штамповки, вытяжке, объемной штамповки, волочению и др. Эффективность предложенных составов оценивалась на различных лабораторных и промышленных станах [1,5]. Ниже приведены некоторые результаты (Рис.1 – 8)

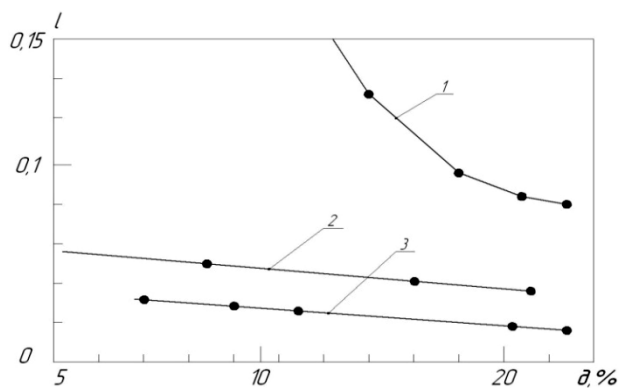


Рис. 1. Зависимость коэффициента контактного трения (λ) от степени обжатия (δ) ст.10 в смазках: 1 – масло Нв – 12; 2 – пальмовое масло; 3 – 1 % раствор полимера в ИС-12.

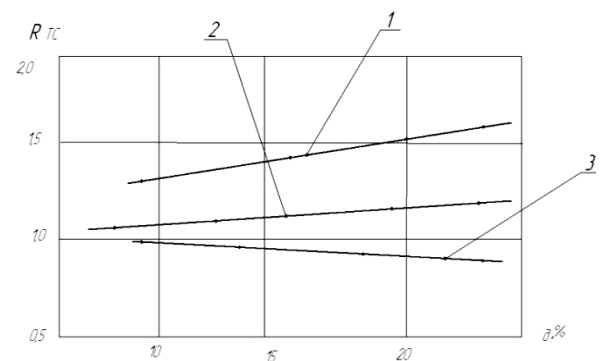


Рис. 2. Зависимость удельной силы трения (R) от степени обжатия (δ) ст.10 в смазках: 1 – RS-160 (ФРГ); 2 – «Тубанор А6» (Фракция); 3 – 1 % раствор полимера в ИС-12;

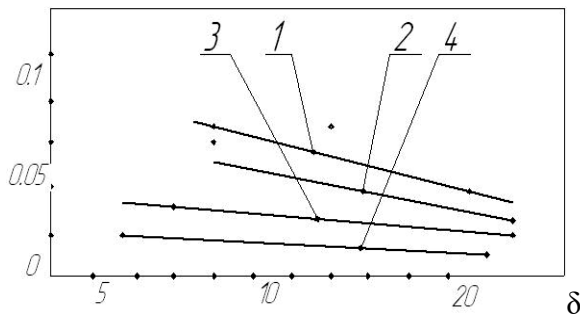


Рис. 3. Зависимость коэффициента контактного трения (λ) от степени обжатия (δ) ст.10 в смазках:
 1 – RS-160 (ФРГ); 2 – «Tivapor A6» (Франция);
 3 – пальмовое масло;
 4 – 1 % раствор полимеров ИС-12

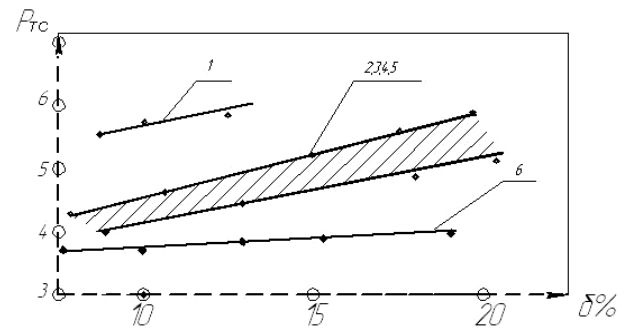


Рис. 4. Зависимость удельной силы трения (R) от степени обжатия (δ) ст. X18H10T в смазках:
 1 – «Витолит 47» (ФРГ); 2 – «Лубринакс» (Франция); 3 – «Кастрол» (ФРГ); 4 – пальмовое масло; 5 – хлорпарафины;
 6 – 1% полимера в масле ИС-12.

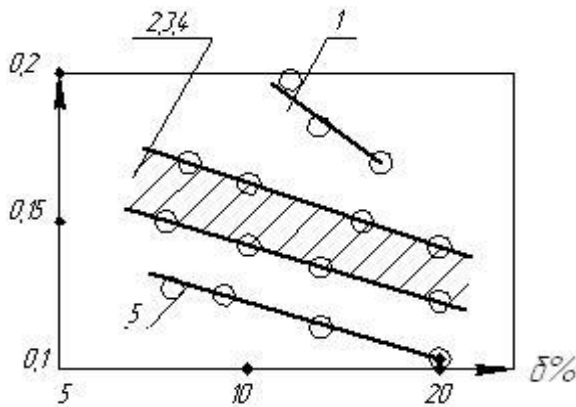


Рис. 5. Зависимость коэффициента контактного трения (λ) от степени обжатия (δ) ст. X18H10T в смазках:
 1 – «Витолит 47» (ФРГ); 2 – «Лубронакс» (Франция); 3 – «Кастрол» (ФРГ); 4 – пальмовое масло; 5 – хлорпарафины;
 6 – 1% полимеров в масле ИС-12.

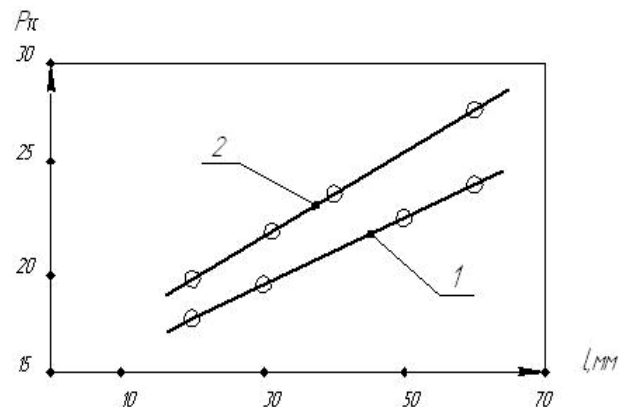


Рис. 6. Зависимость радиального усилия (P) при холодной прокатке труб из ст.10 на стане ХПТ – 55 от величины линейного смещения заготовки (l) в смазках:
 1 – 1% полимера в масле ИС-12 (без предварительного фосфатного покрытия),
 2 – масло ИС-12, мыло+предварительное фосфатное покрытие.

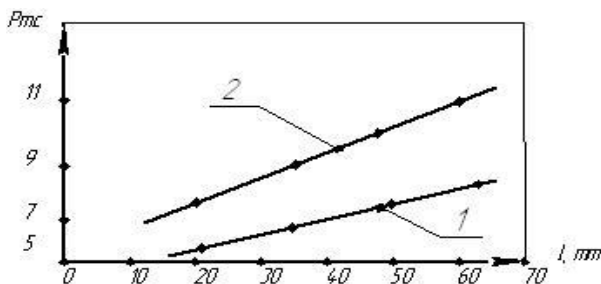


Рис. 7. Зависимость осевого усилия (P) при холодной прокатке труб из ст. 10 на стане ХПТ-55 от величины линейного смещения заготовки (l) в смазках:
 1 – 1% полимера в масле ИС-12 (без предварительного фосфатного покрытия);
 2 – масло ИС-12, мыло + предварительное фосфатное покрытие.

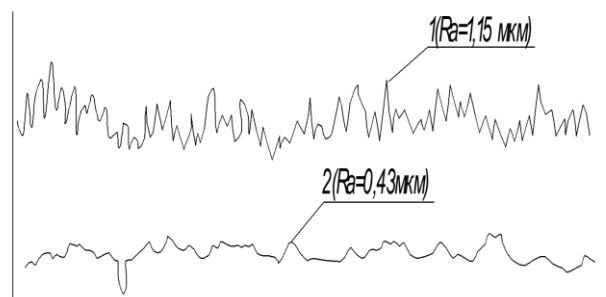


Рис.8. Профилограммы листа из ст.10, изготовленного с применением пальмового масла (1) и 1% полимера в масле ИС-12(2)

Таким образом, представленные данные свидетельствуют о высокой эффективности МПО выражающейся в снижении энергозатрат на процесс обработки, значительном сокращении количества операций в технологическом цикле производства холоднодеформируемых труб, повышении производительности прокатного оборудования, а также повышении надежности и долговечности его работы, улучшении качества изготавливаемых труб и листа. Высокая эффективность МПО продемонстрирована также и на других технологических операциях обработки металла давлением.

При ОМД, когда степень пластичности металла определяет ее эффективность, или вообще возможность осуществления технологического процесса, термическая активация, снижая уровень механического воздействия на металле при котором наступает видимая пластическая деформация, повышает эффективность всего процесса. На практике, это свойство материала легло в основу широко известного способа горячей обработки металла давлением. Здесь температура к обрабатываемому материалу подводится от внешнего источника. В нашем случае источник тепловыделения находится внутри материала, как результат взаимодействия с ним протона водорода. Именно поэтому разработанные технологические средства на основе высокомолекулярных соединений, когда в зоне обработки образуется высокая концентрация ионизированного водорода, отличаются от обычных способов обработки поразительной эффективностью [1, 2].

3. Термодиффузионное насыщение сталей.

Анализ кинетических и термодинамических параметров процессов деструкции полимеров показал, что при температурах термодеструкции (ТД), соответствующих температурам химико-термической обработки (ХТО) 800-1000 °С, должны наблюдаться высокие скорости образования углеводородной газовой смеси, состоящей из углерода и водорода в атомарной и другой активной форме (радикалы, ионы, ион-радикалы). Поскольку эффективность ХТО металлов зависит от концентрации насыщающего элемента, находящегося в активной форме, то в полимерсодержащих средах следует ожидать большей интенсификации насыщения чем в низкомолекулярных карбюризаторах [6].

Действительно, при ТД полимерной составляющей сред в температурно-временной области (1–3 мин, 500–1000°С) непосредственно на поверхности металла возникает повышенная концентрация реакционноспособных радикальных продуктов, активно взаимодействующих с поверхностью с выделением атомов насыщающих элементов. Это обуславливает высокую скорость насыщения в начальный период обработки и всего процесса в целом. Таким образом полагалось, что полимерные материалы могут найти широкое применение для интенсификации термодиффузионного насыщения сталей различными элементами (углеродом, азотом, кремнием и др.) из деструктурирующих при ХТО активных полимерсодержащих составов, что может обеспечить получение покрытий с высокими эксплуатационными характеристиками [7,8].

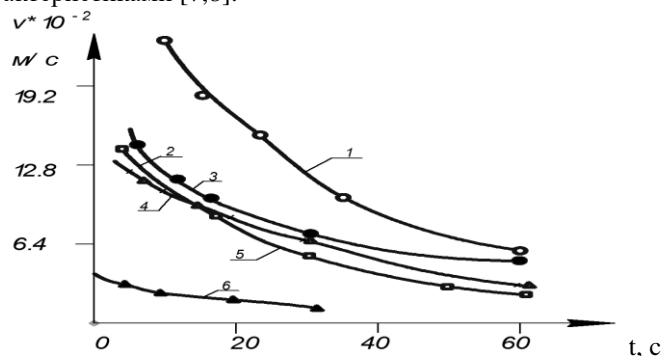


Рис. 9. Зависимость скорости изоконцентрационной области термодиффузионного насыщения (V) стали 45 от времени обработки (t) в 1%-ных растворах полистирола в толуоле (1), полистирола в хлорбензоле (2), пастообразной композиции на основе ПВХ (3), полиметилметакрилата в хлорбензоле (4), поливинилхлорида в хлорбензоле (5), толуоле (6).

Из данных представленных на рис. 9 видно, что насыщение стали углеродом, как из растворов полимеров, так и из пастообразных карбюризаторов позволяет достигнуть высоких скоростей цементации ($V=0,256$ м/с), тогда как известные, наиболее эффективные карбюризаторы не могут обеспечить скорость насыщения выше 0,064 м/с. Полученные результаты свидетельствуют также о том, что высокая скорость насыщения является следствием термодеструкции полимеров входящих в состав насыщающей ванны, поскольку в отсутствие полимера скорость насыщения из углеродсодержащих растворителей значительно ниже (кривая 1).

Так, например, при цементации в течение 1 мин из растворов полистирола в толуоле при 900°С насыщение достигало глубины 0,6 мм, тогда как из растворителя при тех же условиях (толуол, хлорбензол) – 0,1 мм, а из обычно применяемых в промышленности жидких и твердых карбюризаторов – до 1 мм в течение 5-6 ч, при использовании же токов высокой частоты – глубины 1 мм за 10-15 мин.

Общее содержание углерода в образцах из стали Св-08, обработанных в 1%-ном растворе полистирола в толуоле при 870°C в течение 1 мин, составляет 1,03 масс. % при исходном 0,136 масс. %.

Характерной особенностью полимерсодержащих карбюризаторов является также и то, что в результате насыщения и последующей закалки достигается высокая микротвердость поверхностного слоя образца (Рис. 10). Это можно, по-видимому, объяснить специфичностью структуры упрочненного слоя, формирующегося в процессе цементации и дальнейшей термообработки. Импульсный нагрев до температур выше температуры фазовых превращений металла и одновременное воздействие импульсных давлений (газов и паров, возникающих при термодеструкции полимерных карбюризаторов) с последующим охлаждением оказывает существенное влияние на физико-химические процессы взаимодействия металла с карбюризатором и образование специфических структур.

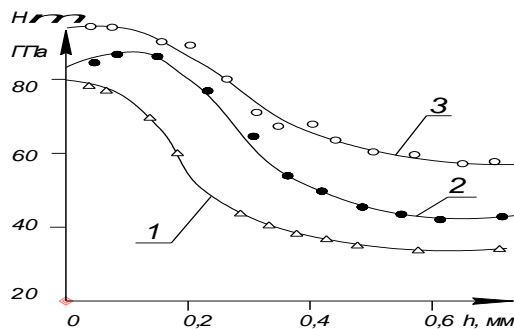


Рис. 10. Изменение микротвердости ($H\mu$) по сечению образца (h) стали Св-08 после цементации в 1%-ном растворе полистирола в толуоле в течение 1 мин при температурах 800°C (1), 870°C (2), 900°C (3).

Согласно данным рентгеновского анализа, фазовыми составляющими поверхностного диффузионного слоя после цементации и термообработки является мартенсит, аустенит и карбиды железа (Fe_3C , FeC) [7].

Наиболее широкое распространение и экономическую целесообразность ХТО в полимерсодержащих составах может найти для упрочнения инструментальных сталей. Например, цементация сверл из стали Р6М5 в течение 20с при 900°C обеспечивала насыщение на глубину 0,06мм и увеличение микротвердости поверхностного слоя с 95МПа до 115МПа.

Результаты исследования процессов низко- и высокотемпературного цианирования сверл и метчиков из стали Р6М5 в составах на основе водных растворов полиакриламида и мочевино-формальдегидных смол подтверждают возможность обработки инструмента со скоростью, в 10–20 раз большей скорости цианирования в обычно применяемых в промышленности средах (табл. 3).

Таблица 3

| Среда цианирования | Температура, °C | Время, мин | Толщина диффузионного слоя, мм | Микротвердость*, МПа |
|--------------------------------|-----------------|------------|--------------------------------|----------------------|
| Полиакриламид | 560 | 1 | 0,030 | 103 |
| | 560 | 5 | 0,045 | 103 |
| | 800 | 0,25 | 0,040 | 103 |
| | 800 | 0,50 | 0,060 | 110 |
| Мочевино-формальдегидная смола | 560 | 1 | 0,020 | 103 |
| | 560 | 5 | 0,040 | 110 |
| | 800 | 0,25 | 0,040 | 118 |
| | 800 | 0,50 | 0,060 | 110,5 |

* Микротвердость до обработки соответствовала 85–95 МПа.

Так, если при использовании полимерных составов в течение 5 мин при 500°C и 0,5мин при 800°C достигается насыщение на глубину соответственно 0,04 и 0,06мм, то при жидком цианировании в соляных ваннах насыщение при 560°C за 2ч достигает глубины 0,045мм, а при нитроцементации в триэтаноламине при 850°C за 1ч – на глубину 0,080мм. При этом износостойкость сверл после цианирования возрастает в 1,5–2,5 раза. В настоящее время установлены оптимальные режимы ХТО, разработаны технологические составы для цементации, цианирования и карбосилицирования сталей. Таким образом, продемонстрирована возможность и перспективность химико-термической обработки сталей в полимерсодержащих составах. В этом случае высокую эффективность, качество и технологичность процессов насыщения сталей углеродом, азотом, кремнием и другими элементами, входящими в состав полимерных композиций, обеспечивают процессы взаимодействия ионизированного водорода с насыщаемым металлом.

4. Бурение горных пород высокой категории твердости.

При бурении горных пород высоких категорий твердости, особенно в разведочном геологическом бурении, используются глинистые растворы, которые заливаются в скважину. Основное назначение таких технологических составов – повысить износостойкость инструмента и снизить энергетические затраты на технологический процесс. Показатель износостойкости режущего бурового инструмента значительно повышается в цене с увеличением глубины скважины, поскольку износившийся инструмент необходимо заменить, для чего надо выполнить чрезвычайно трудоемкий процесс – подъема из скважины буровой колонны.

Если глубина скважины исчисляются несколькими километрами, то с такой глубины инструмент необходимо поднять на поверхность, заменить его, а затем опустить на глубину.

Были проведены промышленные испытания буровых растворов с полимерной добавкой в Олевской геологической партии при выполнении геологоразведочных буровых работ в Житомирской обл[9].

К концентрату бурового раствора, представляющему собой водную эмульсию гудронов, после стадии омыления гудронов прибавляли 43% водную дисперсию поливинилхлорида (ПВХ) марки Е-62 в таком количестве, чтобы после разбавления полученного концентрата водой получить буровой раствор, содержащий 4 весовых процента смеси гудронов, 0,45% весовых ПВХ, остальное – вода. Дисперсия ПВХ, разбавлялась водой до концентрации дисперсной фазы 0,3-0,4 весовых процента, что позволяло получать при таких концентрациях технологическое средство, обладающее достаточной седиментационной и агрегативной устойчивостью.

Эффективность бурового раствора с применением добавки водной дисперсии ПВХ оценивалось в сравнении с эффективностью бурового раствора из смеси гудронов (ОСГ) по результатам бурения гранитов X-XII категорий твердости. Бурение проводилось на буровых станках типа ЗИФ-650М (буровой насос-НГР 250/50, мачта-МРУГУ-2, с применением алмазных коронок типа 15АИЗТ 200, диаметром 59мм).

При применении стальной бурильной колонны диаметром 50мм скорость вращения ротора составляла 780об/мин, а при применении гладкоствольной колонны из легкосплавных бурильных труб диаметром 50мм - 1060об/мин. Осевая нагрузка при бурении равнялась 800–1000 кг.

В таблице 4, 5 и 6 представлены средние результаты работы на 5 буровых установках. Как видно из полученных данных присутствие полимерной компоненты в растворе позволяет существенно повысить износостойкость алмазных коронок, снизить энергозатраты на процесс бурения при существенном повышении скорости бурения[9].

Полученные данные свидетельствуют о том, что в будущем, МПО даст возможность с высокой эффективностью осуществлять бурение твердых пород.

Результаты промышленных испытаний бурения горных пород X –XII категорий твердости

А. Число оборотов бурового инструмента 780 об/мин; Ø алмазной коронки – 59мм.

Таблица 4

| № | Показатели бурения | ОСГ | МПО |
|---|--|------|------|
| 1 | Средний удельный расход мощности кВт·час/м | 5,42 | 2,77 |
| 2 | Механическая скорость бурения м/час | 2,49 | 2,98 |
| 3 | Проходка на коронку, м | 25 | 32 |
| 4 | Удельный расход алмазов, карат/м | 0,78 | 0,61 |

Б. Число оборотов бурового инструмента – 1060 об/мин; Ø алмазных коронок – 46мм

Таблица 5

| № | Показатели бурения | ОСГ | МПО |
|---|--|------|------|
| 1 | Средний удельный расход мощности кВт·час/м | 9,06 | 8,13 |
| 2 | Проходка на коронку, м | 9,7 | 17,2 |

Стендовые испытания

Таблица 6

| № | Показатели бурения | ОСГ | МПО | | |
|---|--|-------|--------|--------|-------|
| | | | 0,45 % | 0,75 % | 1 % |
| 1 | Средняя механическая скорость см/мин | 1,980 | 1,640 | 2,360 | 2,180 |
| 2 | Средняя потребляемая мощность, кВт | 0,860 | 0,680 | 0,760 | 0,75 |
| 3 | Средняя удельная расходная мощность, кВт·час/м | 0,725 | 0,693 | 0,538 | 0,574 |
| 4 | Износ коронок, мм | 0,590 | 0,018 | 0,046 | 0,021 |

Список использованной литературы:

1. Сошко В.А. Механохимическая обработка металлов / В.А. Сошко, А.И. Сошко. – ФРГ : LAMBERT Academic Publishing, 2015. – С. 98.
2. Сошко А.И. Обоснование механоплазменного эффекта, возникающего в процессе механической обработки металла в смазочно-охлаждающих технологических средствах / В.А. Сошко, А.И. Сошко // Металлофизика и новейшие технологии. – 2017. – Т. 39. – С. 117–140.
3. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием / под ред. С.Г. Энтелеса. – М. : Машиностроение, 1986. – 603 с.
4. Сошко А.И. Применение новых химических смазок при обработке металлов давлением / А.И. Сошко, И.М. Шаповал // Сталь. – 1979. – № 12. – С. 938.
5. А. с. [авторское свидетельство] Технологическая смазка для холодной обработки металла давлением / А.И. Сошко. – № 857244. – 1981.
6. Сероштан Т.П. Применение полимеров в процессах химико-термической обработки металлов / Т.П. Сероштан, А.И. Сошко // Физ.-хим. механика материалов. – 1980. – № 1. – С. 107.
7. Сероштан Т.П. Исследование особенностей термодиффузионного насыщения сталей из полимерсодержащих технологических сред : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.16.01 / Т.П. Сероштан. – 1980. – С. 175.
8. Фордзюк Ю.И. Комплексное диффузное насыщение сталей углеродом, азотом, серой, фосфором из полимерсодержащих составов : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.01 / Ю.И. Фордзюк. – 1989. – С. 146.
9. Сошко А.И. Смазочно-охлаждающие средства в механической обработке металла : в ч. Ч. 1 / А.И. Сошко, В.А. Сошко. – Херсон : Изд. Олди-плюс, 2008. – 388 с.
10. Сошко А.И. Смазочно-охлаждающие средства в механической обработке металла : в ч. Ч. 2 / А.И. Сошко, В.А. Сошко. – Херсон : Изд. Олди-плюс, 2008. – 230 с.

References:

1. Soshko, V.A. and Soshko, A.I. (2015), *Mehanohimicheskaja obrabotka metallov*, LAMBERT Academic Publishing, FRG, pp. 98.
2. Soshko, A.I. and Soshko, A.I. (2017), «Obosnovanie mehanoplazmennogo jeffekta, vznikajushhego v processe mehaniicheskoy obrabotki metalla v smazochno-ohlazhdajushhih tehnologicheskikh sredstvax», *Metallofizika i novejschie tnhnologii*, Vol. 39, pp. 117–140.
3. Jentelis, S.G. (ed.) (1986), *Smazochno-ohlazhdajushhie tehnologicheskie sredstva dlja obrabotki metallov rezaniem*, Mashinostroenie, Moskva, 603 p.
4. Soshko, A.I. and Shapoval, I.M. (1979), «Primenenie novyh himicheskikh smazok pri obrabotke metallov davleniem», *Stal'*, No. 12, pp. 938.
5. Soshko, A.I. (1981), *Tehnologicheskaja smazka dlja holodnoj obrabotki metalla davleniem* [Technological lubricant for cold working of metal by pressure], avtorskoe svidetel'stvo № 857244.
6. Seroshtan, T.P. and Soshko, A.I. (1980), «Primenenie polimerov v processah himiko-termicheskoy obrabotki metallo», *Fiz.-him. mehanika materialov*, No. 1, pp. 107.
7. Seroshtan, T.P. (1980), *Issledovanie osobnostej termodiffuzionnogo nasyshhenija stalej iz polimersoderzhashhih tehnologicheskikh sred*, diss. kand. tehn. nauk, spec. 05.16.01, pp. 175.
8. Fordzjuk, Ju.I. (1989), *Kompleksnoe diffuznoe nasyshhenie stalej uglerodom, azotom, seroj, fosforom iz polimersoderzhashhih sostavov*, diss. kand. tehn. nauk, spec. 05.02.01, pp. 146.
9. Soshko, A.I. and Soshko, V.A. (2008), *Smazochno-ohlazhdajushhie sredstva v mehanicheskoy obrabotke metalla*, in parts, Part 1, Publ. Oldi-pljus, Herson, 388 p.
10. Soshko, A.I. and Soshko, V.A. (2008), *Smazochno-ohlazhdajushhie sredstva v mehanicheskoy obrabotke metalla*, in parts, Part 2, Publ. Oldi-pljus, Herson, 230 p.

Сошко Виктор Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры систем технологий и менеджмента производства Херсонского национального технического университета.

Научные интересы:

– теория резания;

– смазочно-охлаждающие технологические средства в механической обработке металлов.

E-mail: sohking@gmail.com.

Бергер Евгений Эмильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры систем технологий и менеджмента производства Херсонского национального технического университета.

Научные интересы:

– технология машиностроения;

– технологическая оснастка для металлорежущих станков.

E-mail: djekson1961@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 03.10.2017.