

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время практически все предприятия, связанные с металлообработкой, в той или иной степени используют холодную листовую штамповку. Все большее применение находят координатно-револьверные прессы (КРП), которые позволяют существенно повысить производительность труда и качество выпускаемой продукции.

Экономичность штампов для КРП характеризуется стойкостью их рабочих частей до полного износа, поскольку стоимость изготовления последних для большинства типов штампов составляет 65-80% их стоимости. В процессе эксплуатации штампов наиболее часто выход из строя инструмента связан с изнашиванием режущих кромок. Поэтому к материалу рабочих частей штампов предъявляют высокие требования по прочности, твердости, ударной вязкости, способности длительное время сохранять требуемую форму режущих кромок.

Для высоконагруженных разделительных штампов матрицы и пуансоны изготавливают из высоколегированных инструментальных сталей карбидного класса высокой прокаливаемости X12M, X12Ф1, P6M5, P18 и др. Изготовление последних – достаточно трудоемкий, энергоемкий и высокочатратный технологический процесс с низким коэффициентом использования металла. Одним из способов экономии дорогостоящих высоколегированных сталей при изготовлении пуансонов и матриц КРП является наплавка их режущих кромок инструментальными сталями. При этом экономия быстрорежущей стали при изготовлении крупного металлического инструмента превышает 90%. Стойкость рабочих частей штампа можно повысить в три и более раз за счет дополнительного упрочнения металла режущей кромки поверхностной пластической деформацией (ППД), химико-термической обработкой, микролегированием, лазерной закалкой и другими способами.

Одним из наиболее эффективных способов упрочнения деталей машин и инструмента является поверхностная закалка лучом лазера, эффективность которой обусловлена возможностью подвода в зону обработки энергии высокой концентрации, локализующей воздействие, экологической чистотой и возможностями автоматизации технологического процесса. Применительно к лазерному упрочнению высоколегированных инструментальных сталей имеется ряд нерешенных вопросов, что существенно сдерживает его широкое применение.

Известно, что высоколегированные инструментальные стали, применяемые для рабочих частей разделительных штампов, после закалики имеют в структуре повышенное содержание остаточного аустенита. Для его превращения требуется выполнение высокотемпературного отпуска для достижения высоких механических и эксплуатационных свойств. При лазерной закалке количество остаточного аустенита в зависимости от режимов лазерной обработки может приближаться к 100 %, что существенно снижает качество упрочнения и требует дополнительных технологических операций по снижению его содержания. Весьма эффективно в таком случае применение ППД, которое

позволяет локально воздействовать на поверхностные слои наплавленного металла, переводя аустенит в мартенсит деформации.

Качество поверхности после лазерной закалки с оплавлением требует последующей механической обработки шлифованием, что повышает себестоимость упрочнения и уменьшает толщину упрочненного слоя.

Лазерная закалка режущих кромок является самостоятельным технологическим процессом, требующим дополнительного оборудования, расходных материалов, квалифицированного персонала и дополнительных рабочих площадей.

Дальнейшее повышение эффективности упрочнения путем лазерной закалки режущих кромок пуансона и матриц разделительных штампов КРП связано с достижением высокой и равномерной твердости по неперетачиваемым поверхностям, снижением затрат на упрочнение и повышением качества упрочняемой поверхности.

Цель работы. Научное обоснование и разработка технологии получения равномерного упрочнения наплавленной быстрорежущей стали на режущих кромках разделительных штампов, с применением лазерной закалки и ППД, обеспечивающей повышение эксплуатационных свойств и качество упрочненного слоя.

В соответствии с целью работы решались следующие **задачи**:

1. Выбрать и обосновать комбинированный способ упрочнения, включающий лазерную закалку и последующую ППД рабочих кромок разделительного штампа, наплавленных быстрорежущей сталью.
2. Определить возможность применения газолазерной резки (ГЛР) для упрочнения наплавленной быстрорежущей стали на режущих кромках разделительных штампов.
3. Исследовать технологическую прочность наплавленной быстрорежущей стали при газолазерной вырезке боковых рабочих поверхностей разделительных штампов.
4. Определить оптимальные параметры ППД для получения рабочей поверхности требуемого качества после ГЛР.
5. Разработать технологию упрочнения наплавленных быстрорежущей сталью режущих кромок разделительных штампов КРП с применением ГЛР и ППД.

Научная новизна:

1. Обнаружено, что при снятии припусков наплавленного металла лучом лазера в поверхностных слоях формируется зона лазерного воздействия (ЗЛВ) с равномерным упрочнением по всей плоскости реза. На всей протяженности упрочненного металла отсутствуют зоны многократного нагрева. Разброс толщины упрочненного слоя не превышает 10-15%.
2. Теоретически и экспериментально исследованы структурные превращения в ЗЛВ, наплавленной стали Р2М8, происходящие при ГЛР. Установлены закономерности влияния режимов, упрочняющей обработки на структуру наплавленной быстрорежущей стали, выявлены закономерности ее

формирования и определены главные структурные факторы, влияющие на микротвердость наплавленной стали.

3. Исследование показало, что наплавленная быстрорежущая сталь после низкотемпературного отпуска в процессе ГЛР обладает достаточной технологической прочностью для предотвращения образования горячих и холодных трещин.

4. Определены рациональные режимы ППД поверхности лазерного реза, позволяющие получать рабочие поверхности режущих кромок требуемого качества.

5. Научно обоснованы технологические процессы комбинированной обработки, заключающиеся в воздействии при ГЛР лучом лазера на наплавленную быстрорежущую сталь Р2М8 с последующей ППД, обеспечивающие равномерное упрочнение боковых поверхностей режущих кромок вырубных штампов КРП (Патент № 2361712).

Объект исследования: физико-механические и геометрические характеристики параметров режущих кромок, наплавленных быстрорежущей сталью, получаемых при комбинированной обработке с применением ГЛР и последующей ППД.

Методы исследования. Качественный и количественный металлографический анализ микроструктуры производили на металлографическом микроскопе МИМ-8 и сканирующем зондовом микроскопе СЗМ SOLVER P47H; измерение твердости и микротвердости выполняли на твердомере TIME Group Inc. модель ТН 160, ТП-2, ПМТ-3; для определения геометрических характеристик поверхностей режущих кромок использовали цифровой измеритель шероховатости TIME Group Inc. модель TR-200. и сканирующий зондовый микроскоп СЗМ SOLVER P47H.

Достоверность полученных результатов, основных положений и выводов. Достоверность научных положений обеспечивается согласованностью с общепринятыми представлениями, признанием полученных результатов на различных международных и отечественных семинарах, конференциях и конкурсах; значительным объемом и воспроизводимостью экспериментальных данных, полученных с применением современных стандартных и аттестованных металлофизических методик, применением независимых дублирующих экспериментальных методов, а также практическим использованием полученных результатов.

Практическая ценность работы. Разработка и внедрение в промышленное производство оригинальной запатентованной ресурсосберегающей технологии упрочнения наплавленных быстрорежущей сталью режущих кромок матриц и пуансонов КРП, позволяющей совмещать процесс формообразования режущих кромок с их упрочнением, тем самым сократить технологический цикл изготовления и обеспечить высокий уровень качества получаемых штампов (Патент № 2361712).

Основные выводы подтверждаются промышленными испытаниями на российско-финском предприятии ЗАО «Фодеско-МАК», специализирующемся на изготовлении штамповой оснастки, режущего и специального инструмента, в

инструментальном производстве ОАО «Ржевский краностроительный завод» и внедрением в учебный процесс подготовки студентов на кафедре «Технология металлов и материаловедение» Тверского государственного технического университета.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на: X и XI международных научно-практических конференциях «Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки» (СПб., 2008 г., 2009 г.); XV Российской научно-технической конференции с международным участием «Материалы и упрочняющие технологии-2008» (Курск, 2008 г.); VI Международной научно-технической конференции «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации» (Курск, 2008 г.); IX Международной промышленной конференции «Эффективность реализации ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях» (Киев, 2009 г.); XVI Тверской областной научно-технической конференции молодых ученых «Физика, химия и новые технологии» в рамках региональных Каргинских чтений (Тверь, 2009 г.); III Всероссийском форуме студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах» (СПб., 2009 г.).

В рамках стажировки в Международном технопарке – Габрово (Болгария) – работа обсуждалась на научном семинаре технопарка (Болгария, 2010 г.).

По теме диссертации автор награжден ректоратом ГОУ ВПО «ТГТУ» грамотой за достигнутые успехи в учебе и научно-исследовательской работе (Тверь, 2009 г.); удостоен гранта по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (СПб., 2009 г.); является лауреатом Всероссийского конкурса «Инженер года» в номинации «Лазерная техника» с вручением сертификата профессионального инженера России (М., 2009 г.); является победителем Всероссийского конкурса «Молодой инноватор 2010», регионального конкурса «Молодой изобретатель 2010».

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 19 работ, в том числе две в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ. Получено два патента на изобретения и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения и приложений. Общий объем работы составляет 142 страницы машинописного текста, включая 44 рисунка и 16 таблиц. Список литературы содержит 108 наименований, в том числе 25 – на иностранном языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы. Рассмотрена концепция решаемой проблемы и дана ее оценка. Сформулирована цель работы.

Первая глава включает обзор работ в области упрочнения рабочих частей вырубных штампов для разделительных операций листовой штамповки,

в том числе с применением наплавки. Дан критический анализ современного состояния теоретических и экспериментальных исследований по проблеме совершенствования технологий упрочнения.

Тяжелые условия работы, повышенный расход высоколегированных сталей при изготовлении интенсифицируют поиск новых, более надежных конструкций рабочих частей вырубных штампов и разработку эффективных ресурсосберегающих технологий их упрочнения.

Наиболее перспективным направлением является изготовление наплавленных быстрорежущей сталью пуансонов и матриц путем формирования режущих кромок лучем лазера с применением последующей ППД.

Широкое применение технологии упрочнения лучем лазера сдерживается по ряду причин, и прежде всего – из-за сложности и трудоемкости процесса упрочнения деталей, имеющих геометрическую форму, отличную от цилиндрической. Важно также отметить, что в литературе авторы ограничиваются описанием способов обработки внутренних цилиндрических поверхностей, опуская процессы упрочнения поверхностей, отличных от цилиндрических, и это притом, что большинство конструкций пуансонов и матриц, используемых в реальном производстве, имеют формы режущих кромок, отличных от цилиндрических. Это приводит к неоправданным затратам ресурсов и разработке малоэффективных процессов упрочнения.

Применение высококонцентрированного луча лазера в комплексе с последующей ППД позволяет решать многие проблемы: значительно снижать технологический цикл получения рабочих кромок матриц и пуансонов и вместе с тем обеспечивать возможность получения необходимого комплекса свойств инструментальных материалов; осваивать новые возможности в области совершенствования структуры инструментальных сталей и далее.

На основании анализа сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе сформулированы общая и частная методики проведения экспериментальных исследований.

На плоскую прямоугольную заготовку толщиной 5 мм из среднеуглеродистой низколегированной стали 30ХГСА дугой прямого действия на постоянном токе обратной полярности в защитной среде аргона была осуществлена наплавка валиков порошковой проволокой быстрорежущей стали Р2М8. Режимы наплавки обеспечивали формирование в наплавленном металле структуры закалки с твердостью ~ 7000 МПа. После наплавки заготовки подвергали низкотемпературному отпуску для снижения уровня остаточных напряжений, предотвращения образования холодных трещин и повышения технологической прочности при ГЛР. После наплавки и отпуска полученные образцы разрезали на полосы длиной 60 мм и шириной 20 мм на лазерном комплексе Vysprint компании Bystronic. Резку производили вдоль наплавки по центру наплавленного валика. Полученные таким образом поверхности лазерного реза подвергали алмазному выравниванию. Обработку производили на одностоечном вертикальном координатно-расточном станке 2Е450АФ30.

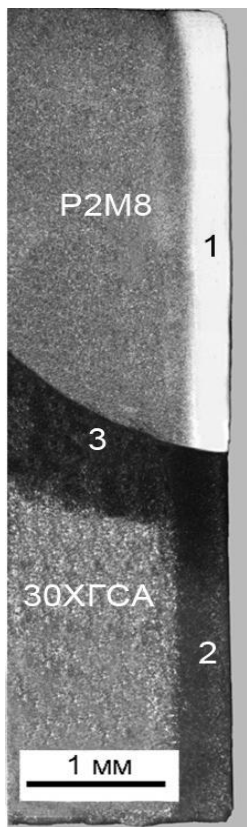


Рис. 1. Макроструктура биметаллической пластины:
1-ЗЛВ в наплавленной быстрорежущей стали;
2-ЗЛВ в конструкционной стали 30ХГСА;
3-зона термического влияния, образовавшаяся при наплавке стали

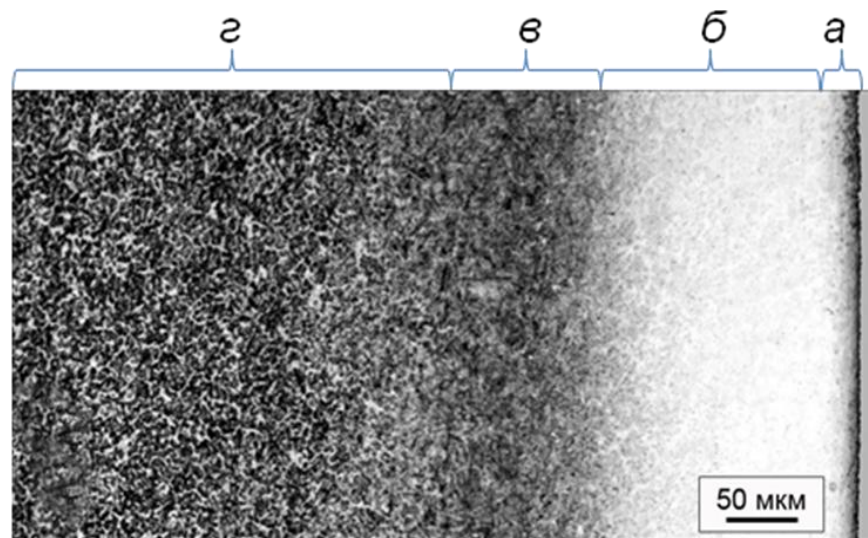


Рис. 2. Микроструктура слоев упрочненного металла, возникших в процессе газолазерной резки

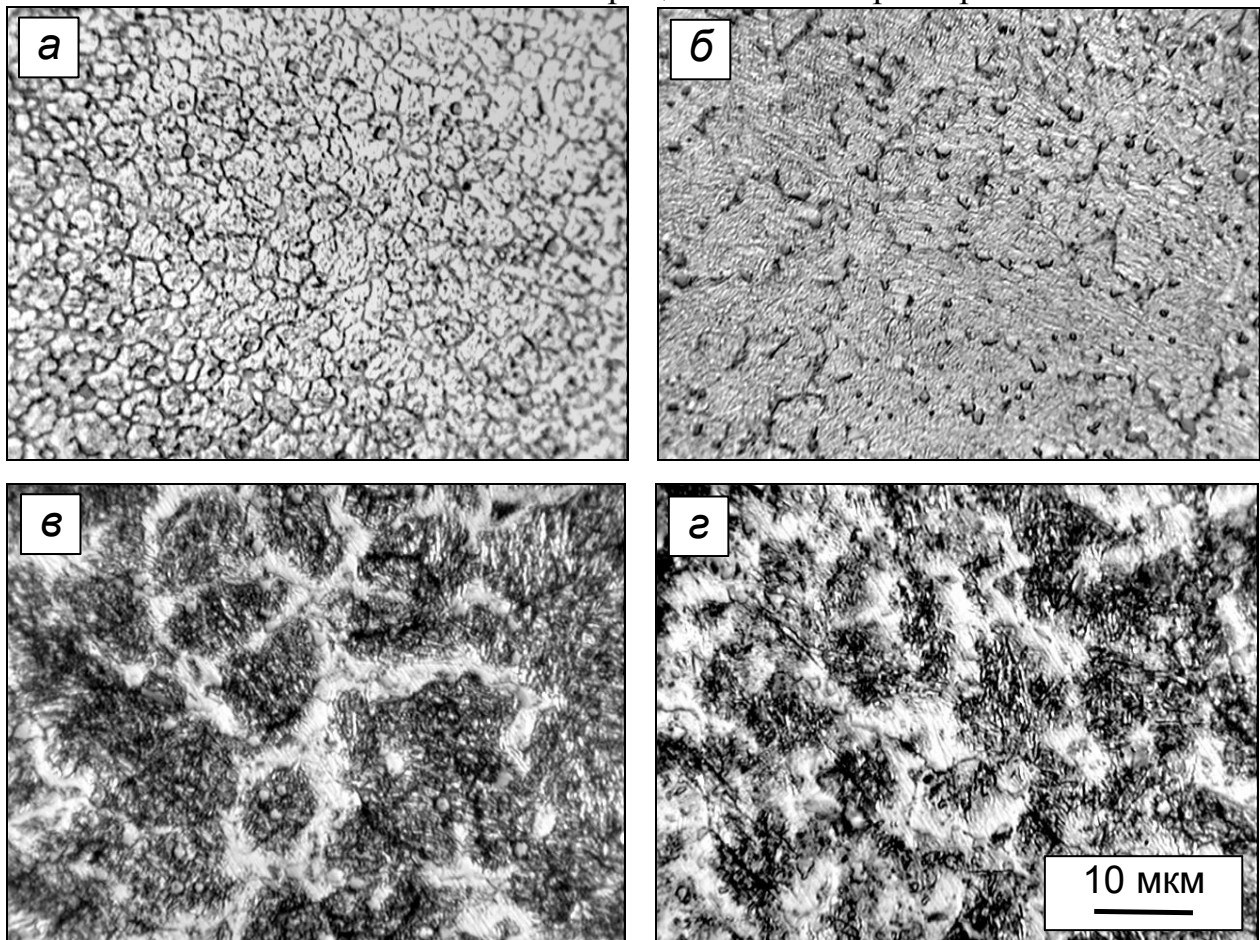


Рис. 3. Микроструктура стали в характерных зонах: а – закалка из жидкой фазы, б – закалка из твердой фазы (поперечные срезы); в – зона отпуска; г – основной металл (продольные срезы)

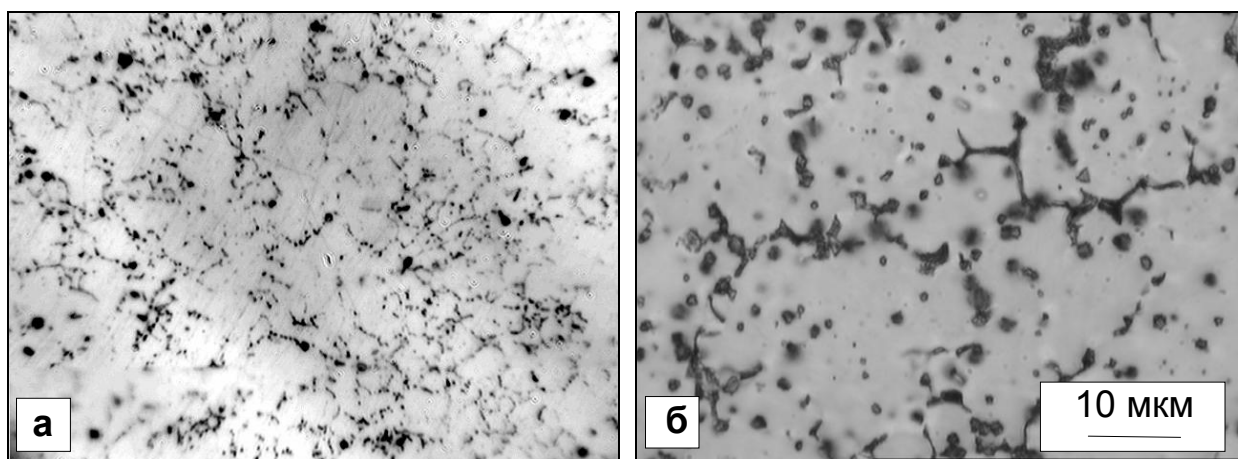


Рис. 4. Микроструктура стали, полученная селективным травлением, в зонах: *а*– закалка из жидкой фазы; *б*– закалка из твердой фазы (поперечные срезы)

Микроструктуру упрочненного слоя исследовали по торцевым (поперечным) сечениям образцов. Металлографический анализ шлифов после травления 4%-ным раствором HNO_3 проводился на оптическом микроскопе МИМ-8. При исследовании карбидной фазы в зонах лазерного воздействия, заключающемся в определении количества карбидов и их размеров, был применен сканирующий зондовый микроскоп СЗМ SOLVER P47Н. Упрочнение и глубину закаленного слоя оценивали по микротвердости наплавленного металла в зоне лазерного воздействия с использованием прибора ПМТ-3 согласно ГОСТ 2999-75. Твердость металла определяли при помощи твердомера ТП-2 и динамического твердомера TIME Group Inc. модель ТН 160. Анализ шероховатости поверхности полученных образцов производили при помощи электронного портативного измерителя шероховатости TR200 компании Time Group Inc. Обработка экспериментальных данных осуществлялась с помощью методов математической статистики.

В третьей главе приведены результаты исследований микроструктуры и состояния поверхностных слоев быстрорежущих сталей после ГЛР. Проведена оценка возможности получения ГЛР требуемой геометрии режущих кромок.

При исследовании микроструктуры биметаллических образцов выявлена ЗЛВ (рис. 1) в основном и наплавленном металле. ЗЛВ, возникшая в процессе газолазерной резки, имеет характерную слоистую структуру (рис. 2).

В общем случае наблюдаются три слоя с принципиально различными по природе фазовыми превращениями. Зона оплавления (закалки из жидкой фазы)-слой оплавленного металла (рис. 2,*а*), зона закалки из твердой фазы-слой металла, претерпевшего структурные и фазовые изменения (рис. 3,*б*), переходная зона-переходный слой (рис. 3, *в*) к металлу (рис. 3,*г*), остающемуся без видимых изменений.

Зона оплавления, глубиной до 40 мкм, (рис. 2, *а*) имеет достаточно однородное дендрито-ячеистое строение и состоит из первичных зерен аустенита, мартенсита и некоторого количества карбидов с размером зерна менее 5 мкм (рис.3, *а*).

На рис. 4,а представлено распределение карбидов, выявленное селективным травлением. Микротвердость слоя оплавленного металла значительно выше микротвердости исходной структуры, но незначительно ниже микротвердости второго слоя. Повышение микротвердости в зоне оплавления может быть обусловлено как образованием мартенсита, так и выделением высокодисперсных карбидов вследствие высокой концентрационной неоднородности. Более низкую микротвердость по сравнению со вторым слоем можно связать с высоким содержанием здесь аустенита остаточного.

Второй слой – это слой, который условно располагается под первым и возникает при закалке из твердого состояния. Зона закалки из твердой фазы (рис. 2,б) имеет вид светлого слаботравящегося слоя (по сравнению с травимостью исходного наплавленного металла). При многократном травлении выявляется ее мелкодисперсное строение (рис. 3, б). В зоне закалки из твердой фазы микротвердость возрастает (рис. 5), что связано с увеличением карбидов легирующих элементов, не растворившихся при нагреве (рис. 4,б), снижением остаточного аустенита и повышением мартенсита. Структура стали в этой области отличается большой неоднородностью, что связано с неомогенностью аустенита. Мартенсит характеризуется повышенной дефектностью строения кристаллов, измельченностью блоков, увеличением плотности дислокаций и роста напряжений в кристаллической решетке.

Металл зоны закалки из жидкой и твердой фаз отличается высокой устойчивостью к действию химических травителей. Структуры, изображенные на рис. 4,а, выявлены трехминутным травлением царской водкой. Структура, изображенная на рис. 4,б, выявлена электролитическим травлением в насыщенном растворе хромового ангидрида в ортофосфорной кислоте.

Между зонами закалки из жидкой и твердой фаз находится переходная область, где при лазерном нагреве произошло частичное расплавление металла. Здесь в структуре стали появляется ледебуритная эвтектика размером до 1 мкм.

Третий слой – условно переходная зона, она образуется при нагреве металла ниже точки A_{C1} . При лазерной обработке предварительно закаленной и отпущенной стали в этом слое имеет место понижение микротвердости, которое обусловлено образованием структур отпуска. Переходная зона между зоной закалки из твердого состояния и исходной структурой отличается повышенной травимостью (рис. 3,в).

Микроструктура быстрорежущей стали после наплавки представляет собой игольчатый мартенсит, остаточный аустенит и карбиды (рис. 3,г).

Выполненные исследования показали, что в процессе газолазерной вырезки рабочих поверхностей пуансонов и матриц штампов для координатно-револьверного прессы образуется закаленный слой глубиной 120 - 130 мкм. Он характеризуется повышенной твердостью (рис. 9) и наличием высокодисперсных карбидов.

Теплостойкие стали высокой твердости при наплавке и термической резке имеют склонность к образованию горячих и холодных трещин. В связи с этим в работе произведена оценка технологической прочности наплавленной быстрорежущей стали при ГЛР.

Контроль образцов на наличие трещин в ЗЛВ осуществлялся методом серийных сечений. Слои толщиной ~5-10 мкм последовательно сошлифовывали с помощью субмикронных алмазных абразивных порошков.

Увеличение толщины снятых слоев приводит к постепенному увеличению площади плоских участков поверхности, имеющих светлую окраску. При толщине снятых слоев ~20 мкм (высота рельефа) вся поверхность шлифа становится светлой. Последовательную сошлифовку выполняли во всех трех зонах лазерного воздействия до глубины 400 мкм от поверхности. Горячие и холодные трещины не были выявлены ни на одном из сечений.

Исследование показало, что наплавленная быстрорежущая сталь после низкотемпературного отпуска в процессе ГЛР имеет достаточную технологическую прочность. Благодаря измельчению зерна и повышенному содержанию в микроструктуре наплавленного металла остаточного аустенита возможно получение заготовок без горячих и холодных трещин.

Одним из показателей качества упрочненного слоя является равномерность распределения микротвердости упрочненных слоев металла. Исследование распределения микротвёрдости производили на торцевых сечениях образцов газолазерного реза при помощи прибора ПМТ-3 согласно ГОСТ 2999-75. Отпечатки выполняли с шагом 50 мкм от края образца на глубину 500 мкм. Дорожки накладывались по всей ширине реза с периодичностью в 200 мкм (рис. 5,а).

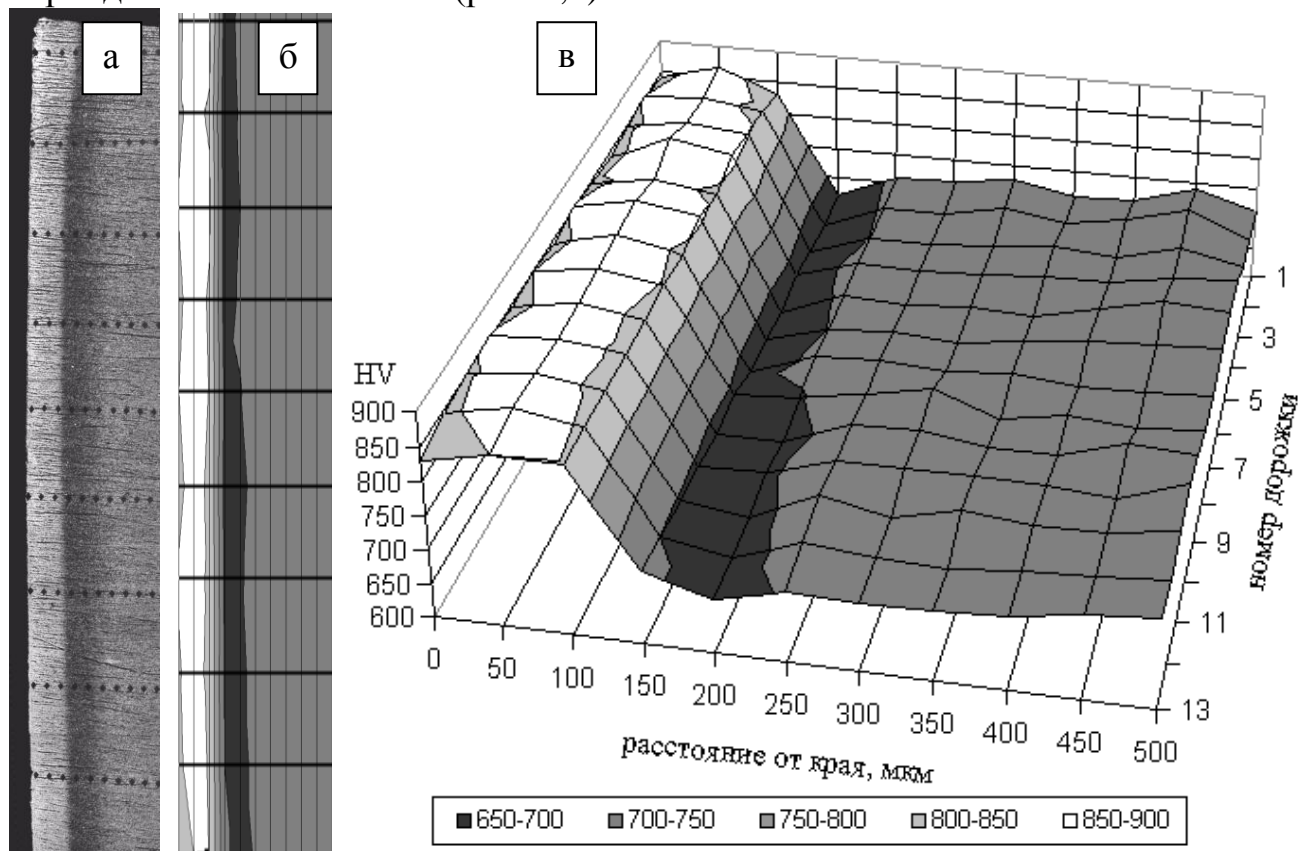


Рис. 5. Микротвердость металла в ЗЛВ:

а Торцевое сечение режущей кромки, полученной ГЛР, с отпечатками индентера; б,в диаграмма распределения микротвердости по высоте лазерного реза в ЗЛВ

На основании результатов измерений микротвердости, полученных при исследовании ЗЛВ, были построены графические изображения (рис. 6). Проанализировав график распределения микротвердости по высоте лазерного реза в ЗЛВ, можно сделать следующий вывод: разброс глубины слоев в ЗЛВ не превышает 20%, а распределение микротвердости по всей высоте реза не претерпевает значительных изменений (рис. 5,б,в).

Исследование показало, что в процессе ГЛР в наплавленной быстрорежущей стали образовалась ЗЛВ с равномерным упрочнением по всей площади реза без применения поглощающих покрытий. На всей протяженности упрочненного металла отсутствуют зоны многократного нагрева, а следовательно, имеется возможность увеличения равномерности свойств по всей поверхности.

Таким образом, ГЛР может успешно применяться не только как разделительная операция, но и как операция упрочнения рабочих кромок разделительных штампов.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния ППД на структуру, свойства и качество поверхности наплавленного металла в зоне лазерного воздействия.

Для достижения высокой твердости за счет превращения остаточного аустенита в мартенсит деформации и требуемой шероховатости выполняли ППД алмазным выглаживанием.

Выглаживание образцов поверхности лазерного реза проводили по упругой схеме с использованием выглаживателя из синтетического алмаза АСПК-3 с радиусом вершины $R = 1,5$ мм. Выглаживатель устанавливали в головку плунжерного типа, позволяющую изменять усилие обработки P от 100 до 300 Н. Образцы выглаживали на одностоечном вертикальном координатно-расточном станке 2Е450АФ30 с числовым программным управлением, с классом точности А и дискретностью отсчета координат 1 мкм по осям X, Y, Z.

Величина подачи при всех опытах, в соответствии с рекомендациями, была принята $S = 0,02$ мм. Влияние скорости выглаживания на качество поверхности в работе не оценивали, поскольку данный параметр мало влияет на величину шероховатости. Значение скорости было принято $v = 200$ м/мин в соответствии с рекомендациями для быстрорежущих сталей. При данной скорости алмаз может перегреваться, во избежание износа алмаза было применено индустриальное масло И-20А. Усилие выглаживания P варьировалось с целью подбора оптимального режима.

Исследования показали, что уменьшение шероховатости обрабатываемой поверхности происходит при увеличении силы выглаживания, но при достижении силы $P = 200-250$ Н (рис. 6,а) снижение шероховатости прекращается.

Микротвердость с увеличением силы выглаживания достигает максимальных значений при $P = 250-270$ Н (рис. 6,б). Увеличение силы выглаживания более $P = 270$ Н на микротвердость и шероховатость значительных изменений не оказывает, но может привести к ухудшению протекания процесса и перенаклепу поверхности.

Полученная в процессе комбинированного упрочнения поверхность характеризуется сглаженной округлой формой профиля и малой величиной продольной шероховатости $Ra \approx 0.3$ мкм (рис. 7). Такая поверхность обладает большей несущей способностью, что может в значительной степени оказать влияние на повышение износостойкости.

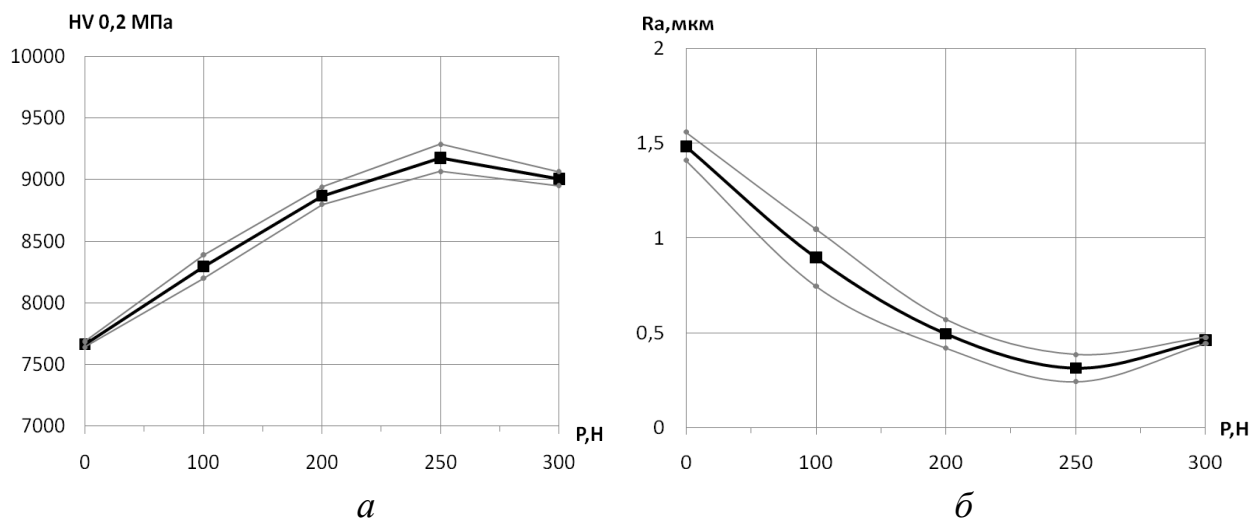


Рис. 6. Влияние усилия выглаживания на изменение: *а*-твердости упрочненных образцов; *б*-шероховатости поверхности упрочненных образцов ($S = 0,02$ мм, $V = 200$ м/мин, $n=2$)

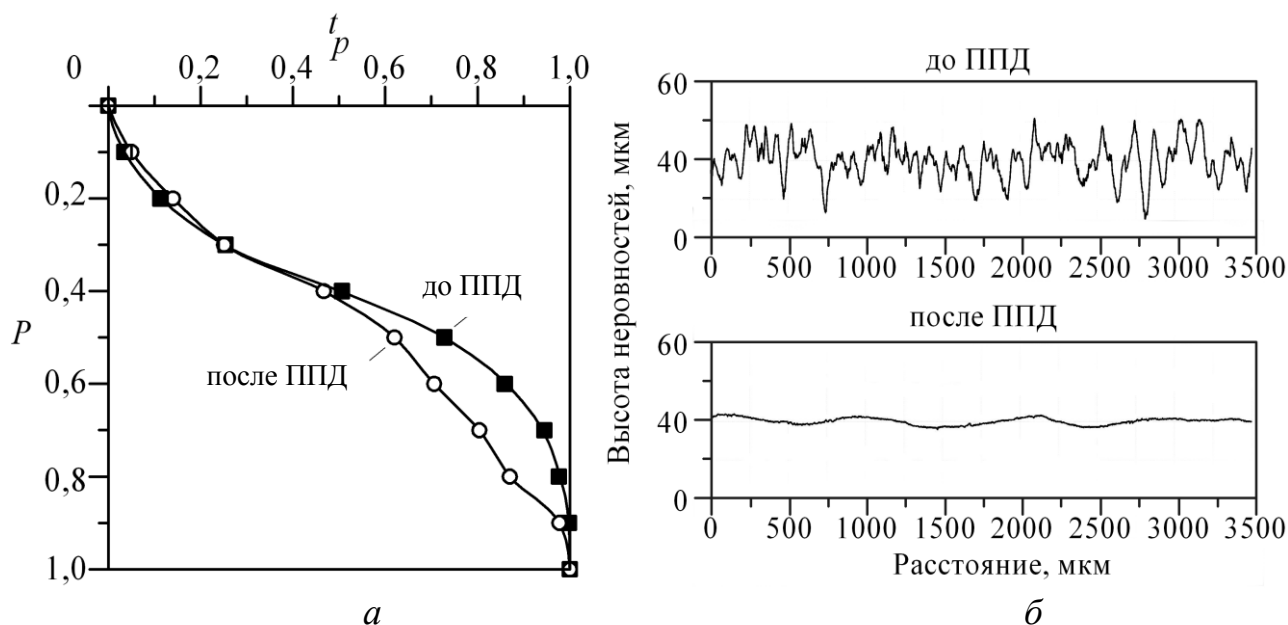


Рис. 7. Характеристики микрогеометрии упрочняемой поверхности: *а*-опорные кривые; *б*-профилограмма поверхности газолазерного реза

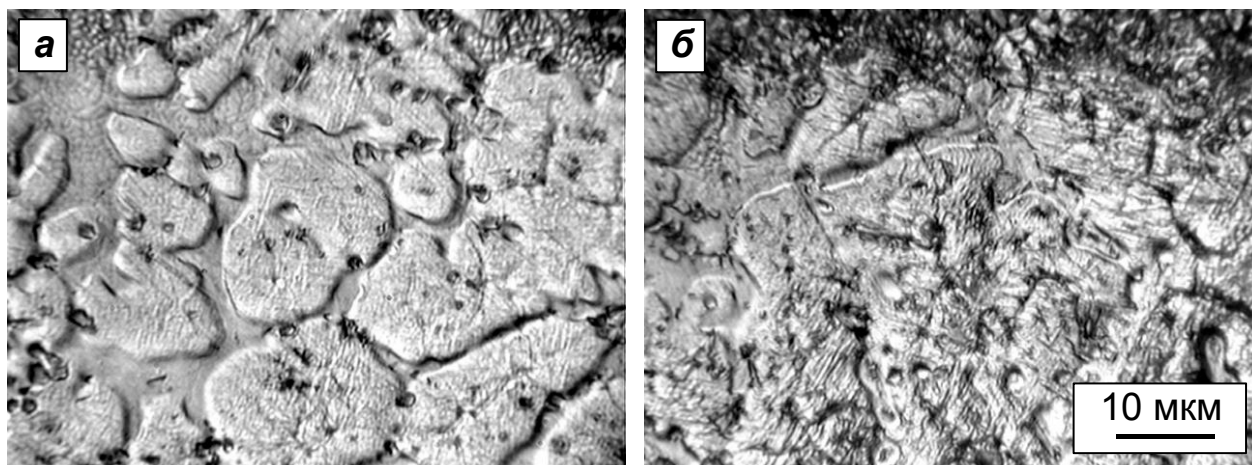


Рис. 8. Микроструктура поверхностного слоя наплавленной быстрорежущей стали после газолазерной резки (а) и после алмазного выравнивания (б) (травление в течение 10 минут в 4%-ном растворе азотной кислоты)

Под действием ППД в поверхностном слое металла наблюдались структурно-фазовые изменения и наклеп (рис.8). Применение пластического деформирования поверхностных слоев металла вызвало аустенитно-мартенситное превращение, вследствие чего снизилось количество остаточного аустенита в структуре. На рисунке 8,а представлена структура, полученная после ГЛР, а на рис. 8,б после последующего алмазного выравнивания.

Измерения микротвёрдости в ЗЛВ показали её увеличение на глубинах до 130 мкм в результате ППД (рис. 9). Это увеличение можно связать со сдвиговым $\gamma \rightarrow \alpha$ превращением, сопровождаемым объемным эффектом.

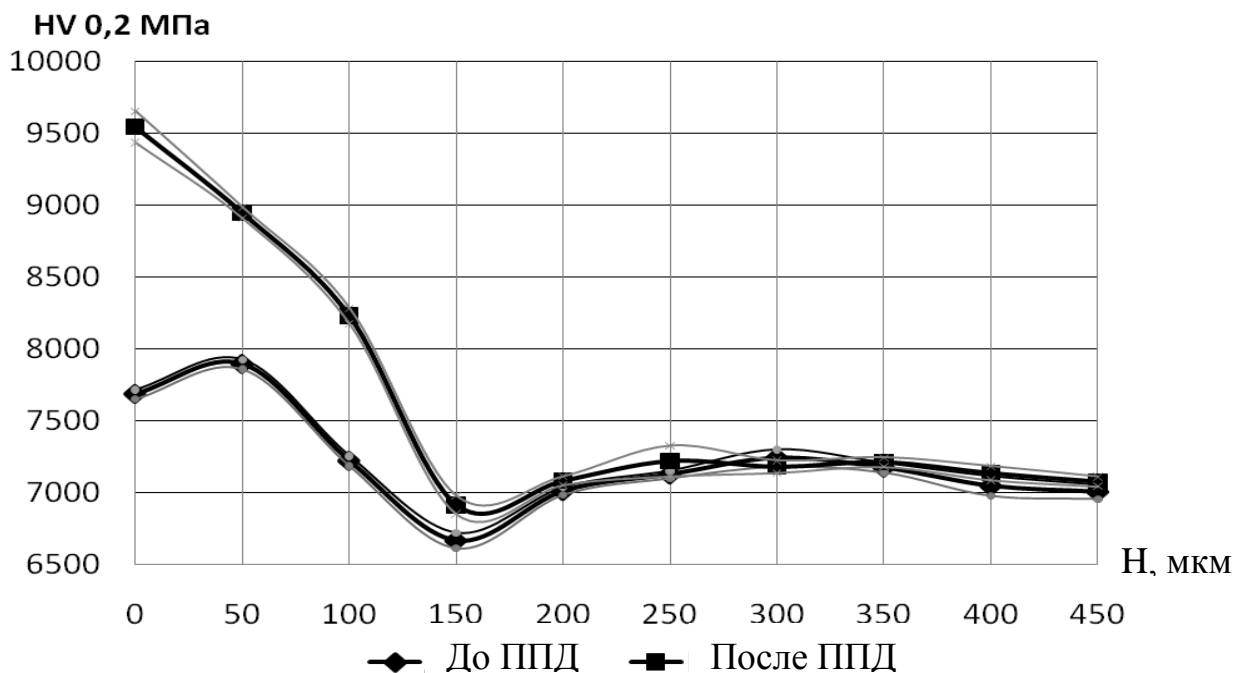


Рис. 9. Изменение микротвердости поверхности, упрочненной лучом лазера, до и после выравнивания

При исходной твердости наплавленного металла ~ 7000 МПа максимальное упрочнение ~ 9600 МПа достигнуто в зоне оплавления. Здесь суммарный прирост твердости от лазерной закалки и ППД составил ~ 2600 МПа, предположительно вследствие высокого содержания аустенита остаточного и его максимальной пластической деформации. В зоне повторной закалки из твердой фазы микротвердость после ГЛР составила ~ 7900 МПа и после ППД достигла ~ 9000 МПа, что дало прирост твердости на ~ 2000 МПа, так как с удалением от зоны оплавления в глубь металла процентная доля остаточного аустенита и степень деформирования структуры падают, что и приводит к снижению прироста твердости. В переходной зоне прирост твердости составил всего ~ 200 МПа.

Пятая глава посвящена разработке технологии упрочнения наплавленных быстрорежущей сталью пуансонов и матриц вырубных штампов (рис. 10.) с применением ГЛР для формирования и упрочнения боковых поверхностей режущих кромок.



Рис. 10. Заготовки матриц, изготовленные по предложенной технологии

В основу проектирования технологического процесса упрочнения пуансонов и матриц вырубных штампов с наплавленной режущей частью была заложена идея экономного расхода материалов и сокращения технологического процесса, а следовательно, снижение себестоимости при условии повышения эксплуатационных свойств.

Экономия обуславливается рациональным подходом к выбору заготовок (обеспечение минимальных отходов металла) и рациональным построением технологического процесса. Так, например, предложенная технология совместной наплавки пуансонов и матриц с последующим разделением заготовок лучом лазера позволяет не только сократить расход дорогостоящего металла, но и упрочнить боковые поверхности матриц на высоту, равную суммарной величине всех переточек, при высокой технологичности процесса и качестве упрочненного слоя.

Применение ГЛР с учетом ее места и взаимосвязи с другими операциями технологического процесса позволило решать вопросы рационального и эффективного использования ресурсов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ:

1. Предложен способ, позволяющий упрочнять боковую поверхность режущей кромки матрицы на высоту, равную суммарной величине всех переточек, независимо от конфигурации и размеров боковой поверхности при высокой технологичности процесса и качестве упрочненного слоя.

2. Исследование микротвердости слоев упрочненного металла показало, что в процессе ГЛР в наплавленной быстрорежущей стали образуется ЗЛВ с равномерным упрочнением по всей площади реза. На всей протяженности упрочненного металла отсутствуют зоны многократного нагрева, а следовательно, увеличивается равномерность свойств по всей упрочняемой поверхности.

3. Исследование показало, что наплавленная быстрорежущая сталь после низкотемпературного отпуска в процессе ГЛР имеет достаточную технологическую прочность для предотвращения образования горячих и холодных трещин.

4. Комплексная обработка наплавленной быстрорежущей стали, включающая в себя ГЛР с последующим алмазным выглаживанием, приводит к существенному улучшению её эксплуатационных свойств. Микротвёрдость значительно повышается не только в зоне оплавления, но и во всей зоне лазерного воздействия. Максимальный прирост твердости происходит в зоне оплавления и достигает ~ 9600 МПа.

5. Экспериментально установлено, что наибольшее упрочнение металла происходит при усилии выглаживания $P = 250$ Н, а минимальная шероховатость поверхности $Ra \approx 0,3$ мкм, получаемая при выглаживании поверхности, образованной в процессе ГЛР, достигается при усилии выглаживания $P = 200$ Н.

6. ППД позволяет не только сохранить положительное влияние лазерного упрочнения на свойства поверхностного слоя, но и улучшить их. В итоге шероховатость газолазерного реза уменьшается в 3 – 4 раза, что позволяет получать рабочую поверхность, пригодную для работы инструмента без применения шлифования.

7. Предложена ресурсосберегающая технология упрочнения матриц и пуансонов КРП, позволяющая получать высокую твердость металла до ~ 9600 МПа. и заданную шероховатость упрочненной поверхности до $Ra \approx 0,3$ мкм, достаточной для исключения механической обработки шлифованием.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Разумов, М.С. Влияние алмазного выглаживания на структуру и свойства наплавленного металла в зоне лазерного воздействия [Текст] / М.С. Разумов, Л.Е. Афанасьева, Н.С. Зубков // Металловедение и термическая обработка металлов. 2009. №12. С.40-43.

2. Афанасьева, Л.Е. Технологическая прочность быстрорежущей стали при газолазерной резке [Текст] / Л.Е. Афанасьева, И.А. Барабонова, Н.С. Зубков, М.С. Разумов // Металловедение и термическая обработка металлов. 2009. №7. С.36-38.

Статьи и материалы конференций:

3. Золотов, А.А. Исследование технологической прочности наплавленного металла с повышенным содержанием серы применительно к изготовлению рабочих частей разделительных штампов [Текст] / А.А. Золотов, Д.А. Барчуков, М.С. Разумов // Вестник ТГТУ. 2007. № 11. С.24-26.

4. Разумов, М.С. Влияние поверхностного пластического деформирования на микротвердость наплавленного металла в зоне лазерного влияния [Текст] / М.С. Разумов, Н.С. Зубков, Л.Е.Афанасьева // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: сб. матер. X Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2008. Ч.1. С. 329-334.

5. Разумов, М.С. Поверхностное пластическое деформирование наплавленного металла после лазерной обработки [Текст] / М.С. Разумов, Н.С. Зубков, Л.Е.Афанасьева // Материалы и упрочняющие технологии: сб. матер. XV Рос. науч.-техн. конф. с Междунар. участием. Курск, 2008. С. 212-216.

6. Разумов, М.С. Влияние наличия грата при газолазерной резке на распределение микротвердости в зоне лазерного воздействия [Текст] / М.С. Разумов, И.А. Яковлев, Н.С. Зубков // Материалы и упрочняющие технологии: сб. матер. XV Рос. науч.-техн. конф. с Междунар. участием. Курск, 2008. С. 219-222.

7. Разумов, М.С. Формирование режущих кромок вырубных штампов лучом лазера в сочетании с их поверхностным пластическим деформированием [Текст] / М.С. Разумов, Н.С. Зубков, Р.С. Вареца [и др.] // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сб. матер. VI науч.-техн. конф. Курск, 2008. Ч.1. С. 121-126.

8. Разумов, М.С. Применение газолазерной резки при формировании рабочих поверхностей пуансонов и матриц штампов для координатно-револьверного прессы [Текст] / М.С. Разумов, Л.Е. Афанасьева, Н.С. Зубков [и др.] // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: сб. матер. IX Междунар. пром. конф. Киев, 2009. С. 369-371.

9. Афанасьева, Л.Е. Влияние газолазерной вырезки на структуру и твердость рабочих поверхностей разделительных штампов [Текст] / Л.Е. Афанасьева, В.П. Водопянова, Н.С. Зубков, М.С. Разумов // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: сб. матер. IX Междунар. пром. конф. Киев, 2009. С. 366-368.

10. Разумов, М.С. Исследование влияния газолазерной резки на распределение микротвердости в зоне лазерного воздействия быстрорежущей стали [текст] / М.С. Разумов, И.А. Яковлев, С.В. Мединцев [и др.] // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования: межвуз. сб. науч. тр. Тверь, 2009. №2. С. 139-141.

11. Мединцев, С.В. Расчет параметров выглаживания алмазным индентером с использованием компьютерной программы SDI v.1 [Текст] / С.В. Мединцев, М.С. Разумов, И.А. Яковлев // Механика и физика процессов на

поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования: межвуз. сб. науч. тр. Тверь, 2009. №2. С. 119-123.

12. Разумов, М.С. Применение газолазерной резки как процесса упрочнения режущих кромок вырубных штампов координатно-револьверных прессов [Текст] / М.С. Разумов, И.А. Яковлев, Н.С. Зубков // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: сб. матер. XI Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2009. Ч.2. С. 259-261.

13. Мединцев, С.В. Разработка информационно-программного продукта для расчета и оптимизации режимов выглаживания алмазным индентером [Текст] / С.В. Мединцев, Д.Е. Данилов, М.С. Разумов // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: сб. матер. XI Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2009. Ч.2. С. 200-203.

14. Разумов, М.С. Пластическое деформирование поверхностей деталей полученных газолазерной резкой [Текст] / М.С. Разумов // Физика, химия, новые технологии: XVI Обл. науч.-техн. конф. молодых ученых. Тверь, 2009. С. 83.

15. Разумов, М.С. Разработка высокоэффективной ресурсосберегающей технологии упрочнения наплавленных режущих кромок [Текст] / М.С. Разумов // Наука и инновации в технических университетах: матер. III Всерос. форума студентов, аспирантов и молодых ученых. СПб., 2009. С.100-101.

16. Разумов, М.С. Влияние отпуска на формирование твердости наплавленного металла в поверхностном слое зоны лазерного влияния [Текст] / М.С. Разумов, И.А. Яковлев, Н.С. Зубков // Вестник Тверского государственного технического университета. 2009. №15. С. 11-14.

17. Пат. 2367555 Российская Федерация, МПК В 23 Р 15/30.Способ изготовления рабочих частей отрезного резца [Текст] / Разумов М.С., Зубков Н.С., Елицкий М.Н., Афанасьева Л.Е.: заявитель и патентообладатель Тверь ГТУ. №200810635/02; заявл. 18.02.08; опубл. 20.09.09.

18. Пат. 2361712 Российская Федерация, МПК В 23 Р 15/00.Способ изготовления разделительного штампа [Текст] / Зубков Н.С., Водопьянова В.П., Разумов М.С., Барабонова И.А. №2008111395/02; заявл. 24.03.08; опубл. 20.07.09.

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа расчета и оптимизации режимов выглаживания алмазным индентером [Текст] / правообладатель Разумов М.С. [и др.]. №. 2009611639; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ №2009612687 от 13.04.09.

Подписано в печать 20.10.2010. Формат 60х84 1/16 Бумага офсетная

Печ. Л. 1,0 . Тираж 130 экз. Заказ № .

Юго-Западного государственной университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.