УДК 621.78; 621.179.2

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

канд. техн. наук, доц. А.Л. ЛИСОВСКИЙ
(Полоцкий государственный университет);
И.В. ПЛЕТЕНЕВ
(РПУП «Завод «Измеритель»)

Исследуется возможность применения лазерной закалки для уменьшения механического изнашивания рабочих поверхностей штампового инструмента типа гибочных матриц и пуансонов. Проведен анализ путей обеспечения работоспособности рабочего инструмента штамповой оснастки, материалов и влияние легирующих элементов на их свойства. Приведены характеристики лазерного луча и установок, способных проводить лазерное упрочнение и влияние режимов обработки на свойства упрочненной поверхности. Высокие физико-механические свойства упрочненной поверхности и простота технологического процесса экономически целесообразны. Уменьшение затрат на инструмент может быть достигнуто за счет увеличения стойкости в эксплуатации, уменьшения количества переточек.

Введение. В технологии машиностроения на стадии получения заготовок и деталей резко возросла доля процессов обработки металлов давлением. В настоящее время стоимость инструментальной оснастки составляет 8...20 % себестоимости поковок и взаимосвязана с конфигурацией заготовки, серийностью выпуска, маркой исходного материала и др. Статистические данные показывают, что выход из строя инструментальной оснастки в результате поломки составляет примерно 30 %, износа – 18 %, неудачного подбора стали для штампов – 11 %, от несоблюдения режима термообработки – 6 % [1].

Ужесточение режимов эксплуатации машин, обусловленное стремлением к наращиванию темпов производства конечного продукта, а следовательно, увеличение мощностей, нагрузок, скоростей, температур и других параметров трения приводит к сокращению сроков службы оборудования из-за низкой износостойкости материалов.

Цель работы – повышение срока службы деталей штамповой оснастки.

Упрочнение деталей машин обеспечивает экономию высококачественного металла, топлива, энергетических и трудовых ресурсов, а также рационального использования природных ресурсов и охрану окружающей среды [2].

Известны случаи, когда ресурс деталей, упрочненных прогрессивными способами, в несколько раз выше ресурса новых деталей, обработанных по старой технологии, что позволяет добиться значительных экономических эффектов.

По современным данным, подавляющее большинство деталей машин выходят из строя из-за износа рабочих поверхностей трения, причем преобладающим видом изнашивания является механическое.

При механическом изнашивании возможно 2 пути повышения износостойкости: создание структур высокой начальной твердости, теплостойкости и других механических и триботехнических характеристик по всему объему детали или только в поверхностном слое [1].

Вполне возможно, что получение новых структур сталей, значительно превосходящих по триботехническим характеристикам существующие, может кардинально решить проблему повышения износостойкости машин. Но трудность состоит в том, что при повышении характеристик прочности и твердости резко снижаются показатели пластичности, а это обусловливает нежелательную склонность к хрупкому разрушению.

Второй путь повышения износостойкости деталей машин предполагает создание на рабочей поверхности детали структуры высокой твердости, прочности и других характеристик на относительно небольшую глубину от зоны трения или соударения. Этот путь более перспективный с позиций трибологии, так как не требует высокой прочности структуры стали по всему объему детали. Повышение поверхностной твердости в ряде случаев оказывает весьма существенное положительное влияние на износостойкость, так как закон соотношения твердостей абразива и металла при высокой твердости металла обеспечивает резкое повышение износостойкости при абразивном изнашивании.

Одним из наиболее эффективных методов получения поверхностей с заданными механическими и триботехническими характеристиками является *лазерная закалка поверхности*.

Упрочнение деталей штамповой оснастки методом лазерной закалки является актуальной задачей для предприятий, в частности для РПУП «Завод «Измеритель» (Новополоцк). При этом возникает необходимость исследования структуры, свойств поверхностного слоя. Значение для успешного освоения разработанной технологии имеют организационные компоненты – создание условий, стимулирующих освоение новой упрочняющей технологии на конкретном предприятии.

Изнашивание рабочих поверхностей инструмента зачастую неравномерное, больше в участках, где скорость перемещения металла в процессе деформации выше: переходной мостик, край формовочной матрицы (рис. 1, 2).

Рис. 1. Гибочная матрица для гибки алюминиевой заготовки толщиной 1 мм (около 300 тыс. циклов)

Рис. 2. Матрица для предварительной отгибки петли (отформовано около 150 тыс. заготовок толщиной 2,5...3 мм)

Рис. 3. Изношенный пуансон для гибки зацепа (около 600 тыс. сгибов заготовок толщиной 2 мм)

Существенное влияние на характер и степень изнашивания оказывают: физико-механические свойства инструментальной стали; качество рабочей поверхности; состояние и химический состав окалины; предварительная подготовка исходного металла для холодной пластической деформации; смазочный материал и др.

Значительная часть штампов при штамповке выходит из строя вследствие износа рабочих поверхностей (рис. 3). Наиболее часто такие дефекты штампов встречаются, когда штамповку производят со значительным перемещением металла по рабочим поверхностям штампа, что увеличивает время контакта обрабатываемого металла с инструментом, а это увеличивает износ.

Анализ путей обеспечения работоспособности рабочего инструмента штамповой оснастки. Стойкость штампового инструмента в большой мере определяется структурой и свойствами поверхностных слоев инструмента, которые претерпевают наиболее ощутимые изменения в процессе эксплуатации. В поверхностном слое штампового инструмента развиваются процессы термической и механической усталости, пластическая деформация, а также окисление и истирание рабочей поверхности. Интенсивность протекания этих процессов, характер их взаимодействия зависит от условий работы инструмента и свойств его материала. Поэтому от выбора материала и способа упрочнения рабочего штамповой оснастки во многом будет зависеть длительность работы штампа.

Влияние легирующих элементов на свойства штамповых сталей. Углерод – основной карбидообразующий элемент [3]. При его содержании в наплавочном порошке до 0,6 % в сочетании с другими карбидообразующими элементами образуются сплавы, отличающиеся высокой ударостойкостью и сравнительно высокой износостойкостью. Но в штамповых сталях должно содержаться 0,1...0,3 % С, так как большее содержание углерода приводит к уменьшению вязкости из-за большого количества карбидов.

Хром – карбидообразующий элемент [3]. В зависимости от содержания углерода и температуры хром образует карбиды различного состава: Cr_2C_2; Cr_7C_3; $Cr_{13}C_6$. Хром повышает окалиностойкость, а также теплостойкость, так как при легировании хромом повышается температура фазовых превращений. Хром способствует упрочнению основы сплава – аустенита и мартенсита, но, как и углерод, повышает карбидную неоднородность. Хром повышает устойчивость сплава к коррозии.

Вольфрам – карбидообразующий элемент, растворяется в феррите, с углеродом образует два карбида: WC и WC_2. Вольфрам увеличивает износостойкость и жаростойкость сплавов [3].

Никель – ценный легирующий элемент, позволяющий в широких пределах регулировать количество аустенита в сплавах и тем самым получать материал с различными физико-механическими свойст-

вами [3]. Введение 3...5 % Ni в сплавы с содержанием до 1,5 % C дает возможность получать 30...45 % аустенита, что резко увеличивает вязкость сплава, не снижая его износостойкости.

Титан – активный карбидообразующий элемент и сильный раскислитель. С азотом титан образует прочные, переходящие в шлак нитриды [3].

Кремний – сильный раскислитель, карбидов не образует, служит составной частью твердого раствора, способствует увеличению жаростойкости и красностойкости сплавов. В зависимости от способа и режима силицирования жаростойкость углеродистых и низколегированных сталей в интервале температур 700...900 °С увеличивается от 3 до 20 раз, а высоколегированных нержавеющих сталей (типа 1Х13, 1Х18Н9Т) – от 2 до 4 раз [4]. При содержании кремния свыше 4 % свойства наплавленных слоев ухудшаются: снижается ударная вязкость и повышается хрупкость.

Марганец, как и кремний, служит составной частью твердого раствора. Растворяясь в феррите, повышает прочность сплава; растворяясь в аустените, увеличивает его количество. Марганец является хорошим раскислителем; при соответствующих концентрациях в сварочной ванне способствует удалению серы из наплавленного слоя [5].

Бор с углеродом, хромом и другими карбидообразующими элементами образует различные соединения в виде боридов и карбоборидов. Бор повышает теплостойкость инструментальных сталей. Установлено повышение температуры α-γ превращения.

Медь повышает вязкость и коррозионную стойкость сталей, а также оказывает благотворное влияние на усталостное поведение сталей [3].

Алюминий. Для устранения пористости в состав присадочного материала вводятся элементы-раскислители. Наиболее перспективным раскислителем при плазменной наплавке композиционных сплавов является алюминий, обладающий наибольшим сродством к кислороду при температурах сварочной ванны, близких к температуре кристаллизации. Кроме того, алюминий как легирующий элемент повышает пластичность матрицы, поэтому для раскисления металла сварочной ванны используется силикомарганец и алюминий [3].

Материалы, применяемые при изготовлении штамповой оснастки и область их применения. Рабочие детали штампов (пуансоны и матрицы) подвергаются ударной нагрузке с сильной концентрацией напряжений на рабочих кромках или на рабочей поверхности. Поэтому к материалу пуансонов и матриц предъявляются требования высокой или повышенной твердости и износоустойчивости при наличии достаточной вязкости. В таблице приведены марки материалов, применяемых для изготовления пуансонов и матриц.

Материалы, применяемые для изготовления пуансонов и матриц

Детали штампов	Марки сталей и материалов
Пуансоны и матрицы вырубные и пробивные - простой формы - сложной формы	 У10, У10А, ШХ15 Х12М, Х12Ф1, Х6ВФ
Пуансоны и матрицы гибочные: - простой формы - сложной формы	 У8А У10А, Х6ВФ, Х12Ф, ШХ15
Пуансоны и матрицы вытяжные и формовочные: - простой формы - сложной формы	 У10А, Х12, ВК8 Х6ВФ, ХВ5, Х12Ф1, пластмасса, термообработанный чугун
Пуансоны и матрицы чеканочные: - простой формы - сложной формы	 Х12Ф Х12М, 9ХС, ХВГ, 9ХВГ
Пуансоны для холодного выдавливания: - алюминия - меди и латуни	 У10А, Х12М Р18
Матрицы для холодного выдавливания: - алюминия - меди и латуни	 Х12М, Х12Ф1, ШХ15, 9ХС Х12М, Р18
Пуансоны для холодного выдавливания стали	Р18, Х12М, ХГ3СВФМ
Матрицы для холодного выдавливания стали	Р18, Х12М, ХГ3СВФМ

Стали, применяемые для изготовления рабочих частей штампов холодной листовой штамповки, делятся на следующие группы:

1) углеродистые инструментальные стали небольшой прокаливаемости (d до 25 мм): У18А, У10А, У8, У10;

2) легированные стали повышенной прокаливаемости (d до 40...50 мм): Х (ШХ15), Х09 (ШХ9), 9Х, 9ХС, 9ХФ, ХВГ, 9ХВГ, ХГСВФ;

3) высокохромистые стали высокой прокаливаемости (d до 80 мм), высокой износоустойчивости, мало деформируемые при закалке: Х12Ф1, Х12Ф, Х12М, Х12Х6ВФ и ХГ3СВФ;

4) легированные стали повышенной вязкости (при твердости HRC 56...58): 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С, 5ХВГ.

Углеродистые инструментальные стали после правильно выполненной термической обработки обладают такой же твердостью и прочностью, как и многие легированные стали.

Применение углеродистых инструментальных сталей ограничивается рабочими частями штампов простой формы толщиной или диаметром до 25 мм. Наиболее пригодны для изготовления штампов стали марок У10А и У10, имеющие более высокую прочность на изгиб, чем другие марки углеродистой инструментальной стали ($\sigma_{из}$ = 200...230 МПа при HRC 59...60).

Легированные инструментальные стали повышенной прокаливаемости позволяют изготовить рабочие части штампов толщиной до 40 мм (при закалке в воду). Прочность на изгиб этих сталей после закалки и отпуска на твердость HRC 59...61 несколько выше, чем у углеродистых сталей, и достигает величины $\sigma_{из}$, равной 250 МПа.

Высокохромистые стали обладают высокой прокаливаемостью и закаливаемостью, что позволяет использовать их для штампов больших сечений и применить закалку с умеренным охлаждением, что уменьшает деформацию изделия.

Высокохромистые износоустойчивые стали имеют некоторые различия по механическим свойствам после закалки. Сталь Х12Ф1 несколько пластичнее сталей Х12Фи Х12М. Но сталь Х12М имеет несколько более высокую твердость (на одну единицу по Роквелу) и большую износоустойчивость [6].

Термическое упрочнение стали лазерами высокой мощности. От обычных тепловых источников лазерный луч отличается высокой плотностью потока энергии порядка $10^5...10^6$ Вт/см^2. Конструкции лазерных установок позволили достичь плотности мощности лазерного излучения мощности индукционных нагревателей, дуговой плазмы и электронных лучей. Это ускорило развитие старых и разработку новых методов лазерной обработки материалов. Лазерная резка и сверление применяются обычно для обработки пластмасс, керамики, дерева, текстиля и металлов, в то время как сварка и поверхностная термообработка используются в основном применительно к металлам и сплавам.

Лазерное излучение, поток фотонов высокой интенсивности, передается почти без потерь благодаря низкой расходимости излучения к поверхности металлов и, поглощаясь, превращается в тепловую энергию, выделяющуюся в тонком слое. Теоретически возможны все виды быстрой термообработки, хотя металлы можно упрочнять и длительной термообработкой, известной как «дисперсионное твердение после закалки». Нормализация, сфероидизация (образование зернистого перлита) и упрочнение компактных деталей невозможны. Можно проводить модификацию поверхности: переплав, легирование нанесение покрытий, полировку. Отжиг и закалка проводятся при сохранении металлами твердого состояния [4].

Для сварки, резки, сверления, плавления скрайбирования, закалки, гравировки и повышения качества поверхности используется то обстоятельство, что монохроматическое лазерное излучение оптически может быть сфокусировано в пятно очень маленьким диаметром, при этом достигается очень высокая плотность энергии и мощность. Для обработки материалов необходимо определенное взаимодействие с веществом. Решающей величиной при обработке материала является доля поглощения лазерного излучения. Поглощение лазерного излучения зависит от длины волны излучения, температуры, свойств материала. В зависимости от температуры, достигаемой на поверхности, могут использоваться следующие технологии:

- тепловая обработка, тепловой удар:

$$T_0 < T_S;$$

- сварка, переплавка, поверхностное легирование:

$$T_S \le T_0 \le T_v;$$

- резка, сверление, фрезерование, скрайбирование, подгонка, динамическое уравновешивание, удаление материала:

$$T_0 > T_S,$$

где T_0 – температура на поверхности материала; T_S – температура плавления; T_v – температура испарения [7].

Принцип лазерного термоупрочнения. Принцип лазерного термоупрочнения заключается в воздействии лазерного излучения на поверхность металла в течение короткого промежутка времени.

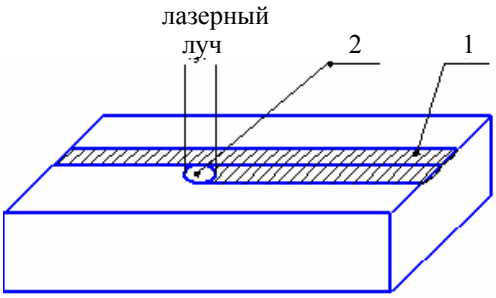

Рис. 4. Лазерная закалка металла:
1 – зона закалки;
2 – пятно фокусировки лазерного излучения

Теплота распространяется в глубь металла, тонкий слой которого нагревается выше температуры аустенитных превращений; теплота сохраняется в течение времени, достаточного для растворения углерода. В период нагрева на поверхности формируются наибольшие градиенты температур. Это главное условие для быстрого охлаждения путем отвода теплоты в глубь металла. Как показано на рисунке 4, упрочненная зона образуется вслед за перемещением луча лазера по поверхности металла.

Полный цикл термообработки требует 1...2 секунды. Чаще всего необходимо избегать термоупрочнения изделия целиком. Максимальная глубина упрочненной лазером зоны, как правило, 1...2 мм. Обычно такой глубины достаточно для повышения износостойкости, прочности и усталостной сопротивляемости. При этом преимущество данного метода заключается в том, что свойства основного металла остаются неизменными, в то время как твердость поверхности растет.

Обычные методы закалки, такие как поверхностная закалка пламенем, индукционная закалка, часто вызывают искажение формы металла, что необратимо портит изделие или требует больших затрат на доводку. Цементация и азотирование поверхности занимают много времени: для них требуется высокая точность поддержки газового состава. При этом нельзя обрабатывать большие площади.

Обнаружено, что лазерная термическая обработка имеет ряд достоинств по сравнению с обычными методами.

Основное преимущество быстрого нагрева тонкого поверхностного слоя состоит в том, что нет необходимости тратить энергию на прогревание всего объема материала. Зона теплового воздействия сокращается до минимума и обычно очень незначительна. Искажения поверхности также минимальны в сравнении с другими методами.

Благодаря простому управлению параметрами лазерного излучения также легко можно управлять температурными полями приповерхностной зоны. Все это позволяет уменьшить температурные напряжения.

По сравнению с другими источниками тепла, геометрия лазерного луча легко изменяется оптическими системами. Лазерный луч передается на расстояние, фокусируется или расширяется специальными линзами. Таким образом, диаметром луча можно управлять дистанционно. Его даже возможно разделять на несколько лучей и направлять одновременно на различные участки детали. Это свидетельствует о том, что лазерный луч легко может достигать труднодоступные места, включая внутренние поверхности полых изделий.

Возможна частичная закалка отдельных участков поверхности без затрагивания прилегающих. При этом быстро выбираются участки термоупрочнения в соответствии с заданной программой. Если необходимо закалить нужную поверхность, то она может быть обработана отдельными участками, один за другим (см. рис. 4). Управляя параметрами процесса, можно избежать разрывов перекрытий закаленных зон.

Лазерный луч распространяется на большие расстояния благодаря низкой расходимости излучения. Он проникает через воздух и другие газы практически без потерь, не требует поддержания вакуума, как в случае электронного луча. Материал можно обрабатывать в газовой атмосфере любого состава. Нет необходимости в механическом контакте обрабатываемой детали с элементами лазерной установки.

Закалка не требует специального охлаждения, такого как водяное или масляное. Обрабатываемая поверхность остается чистой. Практически всеми параметрами процесса можно управлять с помощью компьютера, поэтому термическая обработка легко осуществляется в автоматическом режиме [4].

Закаливаемость сталей лазерным излучением. Как правило, все сорта стали, которые закаляются обычными методами, могут закаляться и лазерами. Однако в случаях лазерного термоупрочнения большое значение имеет строение кристаллической решетки. Это необходимо знать перед лазерной термической обработкой. Время диффузии углерода очень мало, поэтому стали и чугуны с гомогенным распределением углерода наиболее подходят для лазерного термоупрочнения. Для быстрой аустенизации нужна перлитная или бейнитная кристаллическая структура. Низкоуглеродистые стали с содержанием углерода 0,3 % обычно не поддаются закаливанию. Максимальная твердость зависит от содержания углерода. Для того чтобы твердость увеличилась менее чем на 1 %, содержание углерода должно быть в пределах 2...3 %. Средне- и высокоуглеродистые стали оптимальны для лазерного термоупрочнения.

Количество легирующих элементов, таких как хром, марганец или молибден, влияют на закаливаемость. Зерна феррита могут не подвергаться закалке из-за недостаточной гомогенной аустенизации.

Для успешного лазерного термоупрочнения инструментальных сталей требуется специальная предварительная обработка. Аустенитные и ферритные стали, не обнаруживающие γ-α фазовые переходы, не поддаются закалке [4].

В последнее время широкое развитие получил локальный нагрев обрабатываемого материала излучением лазера, что позволяет упрочнять локальные участки обрабатываемых изделий в местах их износа. При этом достигается твердость, превышающая твердость изделий после обычной термической обработки, а в неупрочненных участках сохраняются исходные свойства [8].

Сплошная лазерная закалка по всей рабочей поверхности детали не всегда является оптимальной. Согласно принципу Шарпи, структура из отдельных включений твердой, но хрупкой, структурной составляющей в вязкой металлической матрице имеет высокие антифрикционные, противозадирные параметры и характеристики изнашивания. Наилучшие результаты по износостойкости будут иметь поверхности с сеткой закаленных лазерных дорожек, занимающей 20…25 % всей площади [9].

В зоне, обработанной лазерным лучом, наблюдаются участки с пониженной твёрдостью протяженностью 0,2...0,5 мм. Это подтверждает данные металлографических исследований, что переходная сильно травящаяся зона у края мениска при повторном воздействии луча является зоной термического влияния. Разупрочнённые участки обнаружены также и при исследовании распределения твёрдости по толщине упрочненного слоя.

Наличие участков с пониженной твердостью позволяет устранить трещинообразование при многократных нагревах и охлаждениях, характерных для обработки лучом лазера, так как это способствует релаксации напряжений, возникших при такой обработке [8].

Обсуждение результатов. В общем случае микроструктуру материала, обработанного лазерным излучением, можно разделить на три зоны: целиком мартенситная зона; частично мартенситная зона; незакаленная зона. Иногда вблизи поверхности наблюдаются зоны с аустенитом. В тех случаях, когда температура поверхности превышает температуру плавления, происходит переплав поверхности, в результате которого образуется дендритная микроструктура. Структура зоны теплового воздействия, так же как и распределение твердости, зависит от начального состояния металла, химического состава и параметров процесса. Эта зависимость очень многообразна и сложна. Далее приводятся важнейшие зависимости параметров лазерной закалки и получаемых результатов.

Основной целью лазерной закалки является получение максимальной глубины закаленной зоны при минимуме введенной энергии и минимальных искажениях. Это означает, что материал необходимо очень быстро нагревать для создания большого градиента температур и скорости охлаждения. Градиент температур ограничивается значением температуры поверхности, которая не должна превышать температуру плавления образца. С этой точки зрения эвтектический железоуглеродистый сплав из-за невысокой температуры плавления (около 1150 °С) мало подходит для лазерной закалки. Плавление некоторых сплавов, содержащих фосфор, начинается при еще более низкой температуре. С ограничением интервала температур аустенитизации глубина закаленной зоны также ограничивается. Кроме того, скорости самоохлаждения должны быть достаточно большими. По этим причинам максимальная глубина зоны закалки серого чугуна не превышает 1,5 мм. Распределение твердости в зоне закалки обработанного лазером чугуна приведено на рисунке 5.

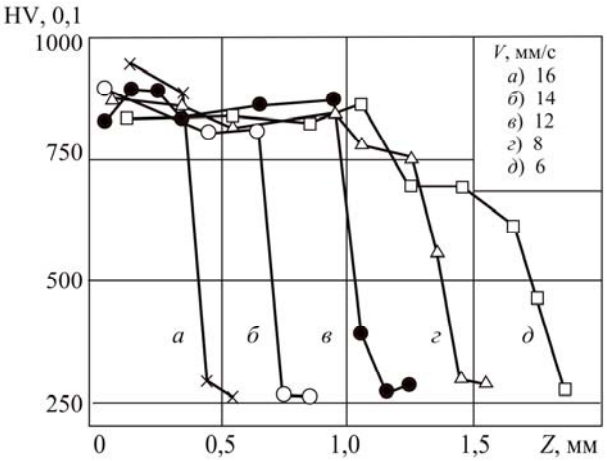

Рис. 5. Зависимость изменения твердости HV от глубины зоны Z с изменением скорости перемещения лазерного излучения V

Глубина закалки зависит от скорости перемещения и мощности лазерного луча. Переходная зона в однородной углеродсодержащей кристаллической решетке узкая. Глубина зоны закалки находится в прямой зависимости от плотности мощности. Тем не менее глубина зоны закалки не может беспредельно увеличиваться с увеличением мощности лазерного излучения. При очень высоких мощностях аустенит нагревается выше температуры плавления, формирование мартенситной структуры задерживается, и образуется мартенсит с дополнительными включениями аустенита. Твердость, прочность и усталостная сопротивляемость такого материала намного ниже, чем однородного мартенсита.

Вычисление параметров процесса позволяет установить, что с ростом плотности мощности и уменьшением относительных скоростей перемещения лазерного излучения скорости охлаждения падают. Поэтому мартенсит, образующийся при высоких температурах, отпускается во время дальнейшего

охлаждения, и твердость уменьшается по сравнению с быстро охлажденным материалом. Большие скорости закалки обеспечивают образование белого мартенсита. Во многих случаях твердость зоны лазерной закалки превышает твердость обычной закаленной зоны, полученной при медленном охлаждении. Очевидно, что максимальная твердость соответствует меньшим скоростям перемещения лазерного луча. Это происходит потому, что однородность аустенита и растворимость углерода повышаются. При дальнейшем снижении скорости перемещения глубина зоны закалки растет, но твердость уменьшается. С падением скорости уменьшение твердости поверхности можно объяснить наличием остаточного аустенита в прогретом слое. Максимальная твердость поверхности достигается только с увеличением скорости закалки стали 1053 (рис. 6, 7).

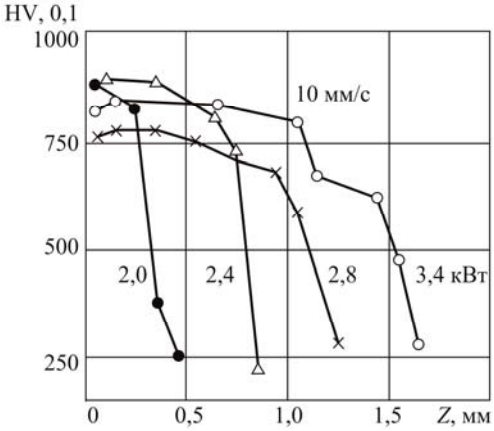

Рис. 6. Зависимость изменения твердости HV стали 1053 от глубины Z зоны закалки для четырех значений мощности излучения

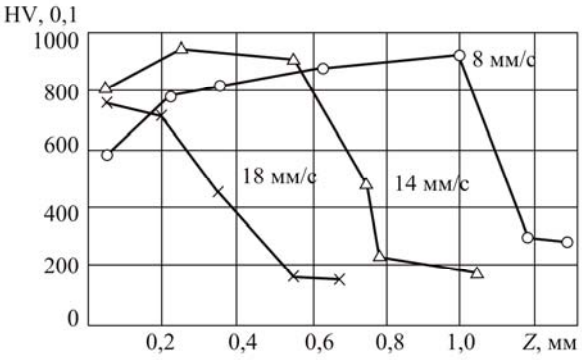

Рис. 7. Зависимость изменения твердости HV стали 1053 от глубины Z зоны при обработке лазерным излучением мощностью 3 кВт с различными скоростями перемещения (мм/с)

Твердость в основном определяется характером превращений. Поэтому при одинаковых параметрах процесса высокоуглеродистая сталь закаливается лучше, чем низкоуглеродистая, в силу более низких температур превращений. Для получения одинаковых глубин закаленных зон необходимо повышать скорость перемещения источника энергии. Это важно при выборе материала для лазерного термоупрочнения. Стоимость обычной закалки такого материала должна быть мала.

Материалы с кристаллической структурой, близкой к эвтектической, инструментальные стали, перлитный серый чугун гомогенизируются легче, чем, например, сталь 1053, ввиду высокого содержания углерода. Поэтому они имеют относительно узкую переходную зону.

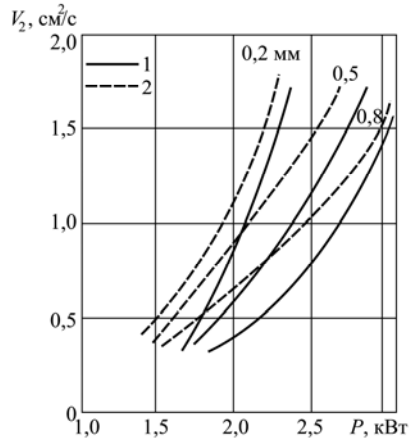

Рис. 8. Скорости закалки стали 1053 (1) и перлитного серого чугуна (2) при различной мощности лазера P

У стали с низким содержанием углерода плавно повышается твердость, особенно при закалке обычными методами. Подобный эффект наблюдается у высокоуглеродистых сталей, если они содержат включения, подобные хрому, которые уменьшают однородность структуры. В этом случае количество растворенного углерода во время короткого температурного цикла меньше, чем обычно. При одинаковых параметрах процесса и глубинах зон закалки скорость закалки серого чугуна выше благодаря более быстрой гомогенизации (рис. 8).

Хотя высокоуглеродистые стали закаливаются эффективнее, чем низкоуглеродистые, они часто содержат большое количество аустенитных включений, что зависит от предварительной термообработки детали. Если для заэвтектоидных сталей температура аустенитизации выбирается в γ-области выше Ac_m, величина аустенитных включений будет высокой, а твердость уменьшится. При аустенитизации на низких температурах между Ac_1 и $Ac_т$ содержание аустенита невелико, однако остаются нерастворенные примеси.

Если некоторая поверхность последовательно закаливается соприкасающимися, перекрывающимися или перекрещивающимися зонами, необходимо исследовать места наложения зон, так как их свойства отличаются от свойств зон закалки. Это такие свойства, как твердость, коррозионная стойкость, усталостная сопротивляемость.

Граница зоны закалки определяется постоянно уменьшающейся температурой и формируется. Превращение аустенита там поддерживается длительным воздействием требуемой температуры. В по-

граничной области температура сохраняется ниже температуры превращения. Лазерный луч может отпускать мартенситную границу близкорасположенной закаленной зоны. Обычно требуется очень короткое время отпуска для начала распада метастабильной структуры закалки, и в этой зоне твердость мартенсита значительно понижается. Таким образом, зоны лазерной закалки будут содержать узкие полосы с пониженной твердостью (рис. 9).

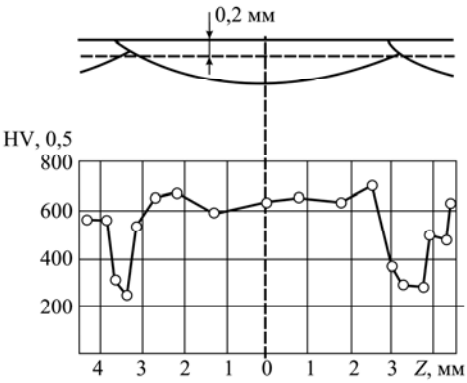

Рис. 9. Области пониженной твердости HV при наложении зон закалки

Примечание. Материал – перлитный серый чугун; измерено на глубине 0,2 мм.

В случае лазерной закалки серого чугуна с перлитной поверхностной структурой твердость в зонах теплового воздействия шириной 0,5 мм понижается до 450...500 HV, что превышает твердость исходного материала. Этот эффект проявляется отчетливее в структурах с меньшей термодинамической стабильностью, т.е. там, где материал был охлажден очень быстро или имел перед лазерной обработкой меньшую температуру отпуска. Поэтому в сильноотпущенных сталях твердость зоны лазерной закалки может оказаться ниже твердости исходного материала.

Для предотвращения этого явления лазерное излучение должно фокусироваться так, чтобы получалась как можно более широкая зона закалки. В этом случае уменьшается количество перекрытий зон закалки.

Лазерный луч можно сфокусировать с помощью описанных выше систем таким образом, чтобы уменьшить краевые эффекты и, следовательно, сократить ширину зоны отпуска. В таком случае зона отпуска будет минимальна и будет зависеть от теплопроводности образца.

Выводы. В настоящее время перед РПУП «Завод «Измеритель» остро стоит проблема упрочнения рабочего инструмента штамповой оснастки. Стоимость инструментальной оснастки составляет 8...10 % себестоимости заготовок. Уменьшение затрат на инструмент может быть достигнуто как за счет снижения стоимости изготовления штампов, так и за счет увеличения стойкости в эксплуатации, уменьшения количества переточек. Следует отметить приоритетность второго направления, повышения технико-экономической эффективности использования штампового инструмента. Одним из наиболее эффективных методов упрочнения и повышения стойкости рабочего инструмента штампового инструмента является лазерная закалка. Лазерная закалка повышает межремонтную стойкость оснастки.

Основным критерием применимости того или иного способа упрочнения является экономическая целесообразность. Положительный аспект данного процесса – простота технологии упрочения и высокие эксплуатационные свойства закаленного поверхностного слоя. Дальнейшие исследования предполагают разработку и внедрение технологии лазерного упрочнения, а именно: изучение механических свойств закаленного слоя; изучение структур приповерхностного слоя; влияние перекрытия на однородность структуры на поверхностности; промышленная апробация. Научная, экспериментальная и теоретическая база для этого на предприятии имеется – две лазерные установки «Квант-15» и лаборатория, позволяющая исследовать структуры и свойства закаленного слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обработка металлов давлением в машиностроении / П.И. Полухин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1983. – 279 с.
2. Молодык, Н.В. Восстановление деталей машин: справочник / Н.В. Молодык, А.С. Зенкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.
3. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А. Геллер. – М.: Металлургия, 1975. – 584 с.
4. Поляк, М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения: в 2 т. Т. 1 / М.С. Поляк. – М.: Машиностроение, 1995. – 832 с.
5. Чаус, А.С. Влияние модифицирования на структуру и свойства W–Mo быстрорежущих сталей / А.С. Чаус, Ф.И. Рудницкий // МиТОМ. – 1989. – № 6. – С. 27 – 33.
6. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.
7. Справочник по лазерной технике: пер. с нем. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 544 с.
8. Луценко, Т.И. Металловедение и термообработка материала / Т.И. Луценко // Лазерная закалка инструмента. – 1982. – № 9.
9. Технологические лазеры: справочник: в 2 т. / Г.А. Абильсиитова. – М.: Машиностроение, 1991. – Т. 1: Расчет, проектирование и эксплуатация. – 432 с.

Поступила 17.12.2007