

4. Микротвердость инструментальной стали после комплексного лазерно-криогенного упрочнения

Сталь	Микротвердость HV стали		
	исходная (после закалки и отпуска)	После лазерной закалки	После лазерной закалки и криогенной обработки
У12	734	976	1070
ХВГ	734	976	1119
Р6М5	834	934	1070

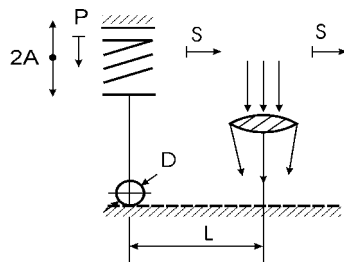


Рис. 34. Схема процесса комплексного лазерного и ультразвукового упрочнения

стном слое металла, отличающейся высокой микротвердостью. Так, если твердость после ультразвуковой обработки достигнет 400-450 HV 100, а после лазерной – 700-800 HV 100, то после лазерной и последующей ультразвуковой она может оказаться равной 800-950 HV 100. Совмещение методов позволяет получить еще большую твердость 1200-1300 HV 100 при исходной твердости 250 HV 100.

Сочетание высокой энергии импульса и скоростной деформации приводит к снижению шероховатости поверхности. С уменьшением

расстояния l ($l = 1,6$ мм) шероховатость поверхности снижается. Например, при исходной шероховатости $Ra = 0,63$ мкм значения шероховатости Ra равны, мкм: 2,5 после лазерной обработки (на указанных ниже режимах); 1 после лазерной и последующей ультразвуковой; 0,25 после совмещенной.

Комплексное лазерное и ультразвуковое упрочнение можно выполнить на следующих режимах: энергия импульса $E = 5 \div 10$ Дж; длительность импульса $\tau = 0,4 \div 7$ мс; диаметр пятна закалки 2-3 мм; частота механических колебаний $f = 20$ кГц; статическая сила $P = 10 \div 200$ Н; диаметр шара $d = 5 \div 10$ мм; подача $S = 0,1$ мм/дв. ход (0,1 мм/об); расстояние между центрами пятен контакта и закалки $l = 1,6 \div 2,8$ мм; скорость вращения (для тел вращения) $v = 35 \div 55$ м/мин; смещение инструмента $2A = 25 \div 30$ мкм; толщина упрочненной зоны (с зоной термического влияния) до 0,25-0,3 мм.

Упрочнение методами воздействия магнитным полем

Инструмент и обрабатываемый материал, взаимодействуя в процессе резания, образуют термопару, состоящую из взаимно перемещающихся разнородных элементов, каждый из которых обладает специфическими физико-механическими свойствами. В этих условиях разность температур, образующихся в зоне резания и вне ее, создает условия для возникновения электрического потенциала на разноименных концах инструмента и заготовки. Установлено, что появляющаяся термоЭДС оказывает влияние на процесс резания и эксплуатационную стойкость инструмента, особенно при обработке стали невысокой твердости, содержащей небольшое количество углерода и легирующих примесей.

Процессы, связанные с возбуждением термоЭДС в зоне резания, еще достаточно не изучены. Их проявления в общем виде сводятся к следующему.

В зоне резания возникает *эрозия металлов*, т. е. разрушение поверхностей детали и инструмента импульсами слабых электрических разрядов, подобно процессу, действующему в электроэрозионных станках для обработки металлов. В зависимости от полярности термических токов в цепи инструмент – станок – заготовка эрозия в большей или меньшей степени разрушает лезвие и поверхность инструмента, создает множественные очаги концентрации напряжений и развития разрушений.

В зоне резания возникает *кавитация газов и паров*, вызывающая разрушение поверхности инструментов взрывами весьма малых парогазовых пузырьков, образующихся при испарении жидкостей и материалов, попавших в зону. Совокупные действия эрозии и кавитации усиливают разрушительное влияние эрозии, поскольку кавитационные вихри дополнительно выполняют роль рабочей жидкости в эрозионном процессе.

Под влиянием термоЭДС в зоне резания возникает *электромагнитная индукция*, характеризующаяся напряженностью магнитного поля. Поскольку термоЭДС обладает постоянной направленностью, то и индуцируемое ею магнитное поле также имеет постоянную полярность.

Магнитная и электрическая полярности зависят от сочетания свойств материалов инструмента и заготовки, влияния внешних магнитных, электрических и тепловых полей, действия ряда других факторов. Однако при любой полярности влияние магнитного поля приводит к накоплению пылевидных микрочастиц металла в зоне резания, их намагничиванию и поляризации. Поляризованные частицы металла налипают на поверхности инструмента и заготовки, заряженные обратной полярностью, и действуют как абразивные микропорошки. Они создают в зоне резания эффект абразивного изнашивания и разрушения. Влияние этого эффекта распространяется на металл заготовки и инструмента. Его проявления на поверхности заготовки совпадают с целью процесса резания. Напротив, эффект налипания микрочастиц на лезвие инструмента приводит к увеличению силы трения и к абразивному изнашиванию его поверхности. В результате стойкость инструмента снижается.

Сочетание процессов эрозии, кавитации и абразивного изнашивания ухудшает условия отвода теплоты из зоны резания. Возникает дополнительное количество теплоты, увеличивающее разность температур на концах термопары инструмент – заготовка. Соответственно растет разность потенциалов и значение термоЭДС. Возрастает напряженность индуцированного ею магнитного поля. Усиливаются условия для появления и действия эрозии, кавитации и абразивного налипания. Возрастает сила их совокупного действия на контактируемые поверхности. Таким образом, явления, возникающие в зоне резания в результате влияния магнитного поля, вызывают рост напряженности этого поля, что, в свою очередь, усиливает разрушительную силу описанных выше процессов. Следовательно, эффект разрушения лезвия инструмента под действием индуцированного магнитного поля постоянно и лавинообразно усиливается, достигая максимального значения, при котором инструмент выходит из строя. Подобные явления возникают не только в паре инструмент – заготовка, но и в любой трущейся паре металлических деталей, оказывая значительное влияние на скорость и характер протекания процессов разрушения поверхностей.

Защиту металлических поверхностей от действия термоЭДС выполняют, чаще всего используя методы разрыва цепи термопары или компенсации термо-

ЭДС. Последний сводится к тому, что в зону контакта инструмента с деталью от постороннего источника тока вводят электродвижущую силу, полярность которой противоположна, а величина равна, соответственно, полярности и величине термоЭДС, возникающей в зоне резания.

Разрыв цепи термопары осуществляют *электроизоляцией инструмента или одной из трущихся поверхностей*. Электроизоляцию наносят покрытием, напылением или окунанием непосредственно на изолируемую поверхность. При возможно малой толщине слоя покрытие должно обеспечить сохранение жесткости системы станок – приспособление – инструмент – деталь и высокое сопротивление прохождению малых электрических токов. Сопротивление изолирующего слоя должно быть не менее 3 МОм, прочность на сдвиг – не менее 20 МПа.

Слой должен быть долговечным и не хрупким. В наибольшей степени этим требованиям отвечают эпоксидные клеи К-153, фенольно-каучуковый клей ВК-32-200 и герметик (эластомер) ГЭН-150, представляющий собой продукт смешивания нитрильного каучука СКН-40 со смолой типа ВДУ. Можно использовать фенольно-каучуковые клеи ВК-3 и ВК-4, фенольно-поливинилацеталевый клей БФ-2, полиуретановый лак горячего отверждения УЛ-1, бакелитовый лак или шеллак. Лучшими качествами для указанных целей обладает герметик ГЭН-150. В зависимости от конструкции и формы поверхности, а также требуемой точности ее обработки толщина покрытия должна составлять 20-80 мкм.

Наилучшие результаты при нанесении покрытий достигают при окунании изделий в ванну. Изолируемую поверхность перед окунанием или напылением следует очистить от забоин, заусенцев, следов коррозии и остатков прежнего электроизоляционного покрытия, а также тщательно обезжирить и высушить. Места, не требующие покрытия, смачивают любым маслом или пластичным смазочным материалом либо заклеивают бумагой. Для получения равномерного слоя покрытия инструмент или деталь следует медленно вращать, а плоскую поверхность перемещать возвратно-поступательно.

Для сушки покрытия инструмент или деталь нужно подвесить. После полного отверждения (полимеризации) слоя на него наносят следующий слой до получения нужной толщины покрытия.

Электроизоляцию можно осуществить также и с помощью переходных установочных элементов – втулок, подкладок, призм и т. п., изготовленных из электроизоляционного материала. Такие элементы, выполненные с достаточной точностью, способствуют увеличению точности обработки инструментом или сопряжения деталей.

Для эффективного разрыва цепи термоЭДС инструменты или шпиндели станков или инструментальные оправки изготовляют *клеесборными*, используя для этих целей клеи, перечисленные выше. Однако все виды механической защиты напылением, смачиванием или использованием установочных и клеесборных элементов обладают общими существенными недостатками – они недолговечны, не обеспечивают требуемой точности сопряжения и достаточно трудоемки в изготовлении. Использование установочных элементов, кроме того, связано с необходимостью изготовления большой номенклатуры типоразмеров этих элементов, что требует организации их производства, учета, хранения, реставрации и т. п.

Процесс компенсации термоЭДС можно упростить [а. с. 742037 (СССР)]. Предварительно размагниченный режущий инструмент или деталь намагничивают так, чтобы полярность электродвижущей силы электромагнитной индукции,

возникающей при относительном перемещении намагниченного инструмента и обрабатываемой детали, была противоположна полярности возникающей термоЭДС, а значение остаточной магнитной индукции выбирают из условия возможного равенства ЭДС индукции и термоЭДС.

Способ основан на явлении возникновения электродвижущей силы индукции при перемещении электропроводящих тел в магнитном поле. В частности, при вращении намагниченного инструмента возникает ЭДС униполярной индукции, а при вращении детали в магнитном поле инструмента – ЭДС электромагнитной индукции, которая может быть рассчитана по формуле

$$U = \frac{\omega R^2}{2} Bd,$$

где U – ЭДС индукции, В; ω – угловая скорость инструмента или детали, рад/с; R – радиус инструмента или детали, м; Bd – остаточная магнитная индукция инструмента, Т.

Исходя из значения термоЭДС, режима обработки резанием и размера инструмента, остаточную индукцию, необходимую для компенсации термоЭДС, рассчитывают по формуле

$$Bd = \frac{2E}{\omega R^2},$$

где E – термоЭДС, В; R – радиус инструмента или детали, м.

Используя зависимость $Bd = f(H)$ для конкретного инструмента, по рассчитанному значению остаточной индукции определяют напряженность H необходимого намагничивающего поля. Расчетные значения напряженности намагничивающего поля следует экспериментально проверять сравнением стойкости инструментов-образцов, обработанных при различных полярности поля и времени выдержки.

При обработке углеродистой стали *намагниченными быстрорежущими резцами* лучшие результаты достигаются инструментами, режущая кромка которых является северным полюсом магнита. Увеличение тока намагничивания, а следовательно, степени намагниченности до предела магнитного насыщения, приводит к возрастанию стойкости резцов. Влияние намагничивания на изнашивание резцов особенно заметно при работе с малыми значениями подачи (до 0,14 мм/об) и скорости резания до 15 м/мин.

Намагничивающей обработке подвергают стальные режущие инструменты: резцы, сверла, развертки, метчики, плашки и др., а также ножи, матрицы и пуансоны разделительных штампов для холодной штамповки.

Упрочнение сталей с применением магнитного поля и высокоскоростного трения

Методика предложена и разработана проф. В.Д. Евдокимовым и доц. Л.В. Кошарской.

При разработке методики была выбрана схема с одним вращающимся диском, что упрощало проведение исследований и создание экспериментальной