

90 лет
БНТУ

It is shown that as a result of hot extrusion of bimetallic ingot consisting of steels P6M5 (working, cutting part) and 40X (tail), texture is formed in these steels though profile die due to drawing of grains along the deforming direction. It is discovered that in the central part of ingot (steel 40X) there is formed fine-grained homogenous structure, which enables increase of solidity of bimetallic tap against bend.

А. В. АЛИФАНОВ, Г. П. ГОРЕЦКИЙ,
А. М. МИЛЮКОВА, ФТИ НАН Беларуси

УДК 621.777.4

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК КОНЦЕВОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, ПОЛУЧЕННЫХ ГОРЯЧИМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ, НА ИХ ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Введение

В современной ситуации экономия материальных и энергетических ресурсов в промышленности приобретает колоссальное значение. Быстрорежущая сталь для нужд промышленности Республики Беларусь приобретает за рубежом за валютные средства, что стимулирует необходимость ее экономии. Широкое применение режущего концевой инструмента (сверла, метчики, зенкера и т. д.) делает актуальной задачу использования при его изготовлении наиболее прогрессивных технологий, обеспечивающих высокую производительность, минимальные отходы дорогостоящих легированных сталей и максимальную степень автоматизации процесса. Наиболее распространенным методом продолжает оставаться механическая обработка резанием, что ведет к нерациональному расходу дорогостоящей быстрорежущей стали. Однако в последнее время значительно изменилась технология изготовления инструментов в связи с разработкой новых технологических процессов, а также конструктивными изменениями самих инструментов.

Одним из прогрессивных направлений в современной технологии изготовления режущего концевой инструмента является применение таких методов обработки, которые обеспечивают экономию инструментальных материалов и приводят к повышению эксплуатационных характеристик инструмента. К таким методам относятся методы пластической деформации. В частности, метод горячего выдавливания позволяет деформировать различные стали и сплавы, в том числе малопластичные (например, быстрорежущие). Су-

щественную экономию дорогостоящей быстрорежущей стали можно получать, применяя биметаллическую конструкцию инструмента, в которой хвостовик изготавливается из конструкционной стали (сталь 45, 40X), а рабочая (режущая) часть – из быстрорежущей стали (P6M5).

Решение проблемы

Получение биметаллических заготовок концевой режущего инструмента методом горячего пластического деформирования имеет ряд преимуществ перед такими методами, как сварка трением, электроконтактная сварка и пайка, наиболее часто применяемыми в инструментальном производстве биметаллического инструмента. К наиболее значимым преимуществам относятся увеличение

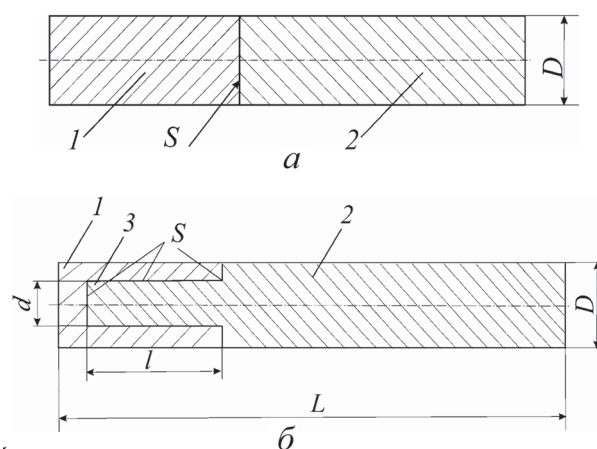


Рис. 1. Эскизы биметаллических заготовок, получаемых различными методами: а – биметаллическая заготовка, полученная методами сварки трением, электроконтактной сварки, пайки; б – биметаллическая заготовка, полученная методом горячего выдавливания; 1 – рабочая часть; 2 – хвостовик; 3 – прошивень

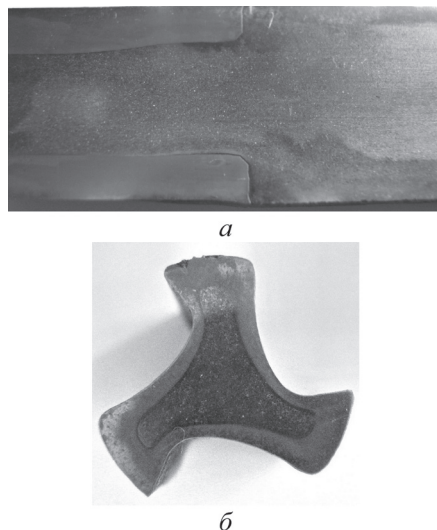


Рис. 2. Продольный (а) и поперечный (б) разрезы биметаллической заготовки метчика машинно-ручного

площади сопрягаемых поверхностей (рис. 1, а, б); максимальное приближение конфигурации биметаллической заготовки к форме готового метчика (рис. 2), что позволяет экономить 50–70% дорогостоящей быстрорежущей стали; повышение прочностных свойств изделия за счет улучшения его структуры.

В процессе эксплуатации концевой режущий инструмент, например метчик, подвергается воздействию крутящего момента и напряжению сдвига при нарезании резьбы. Стойкость биметаллического инструмента к воздействию этих нагрузок определяется прочностью соединения рабочей части и хвостовика. Ее можно увеличить, если повысить прочность соединения хвостовой и рабочей частей биметаллического инструмента.

В предлагаемой конструкции биметаллической заготовки площадь S контактных поверхностей соединения частей заготовки увеличена на величину площади цилиндрического выступа (πdl):

$$S = \pi D^2/4 + \pi dl,$$

где D – диаметр заготовки; d – диаметр выступа; l – длина выступа [1].

При условии равных усилий сцепления заготовок прочность их соединения зависит от площади контактных поверхностей соединения: чем больше площадь физического контакта заготовок, тем выше прочность соединения, так как образующаяся при этом контактная поверхность обладает значительной энергией [2]. Кроме того, в процессе последующего формообразования рабочей части инструмента путем горячего деформирования площадь контакта увеличивается дополнительно за счет вытяжки при получении профиля стружечных канавок, которые отчетливо видны на рис. 2, б.

Таким образом, при изготовлении биметаллического метчика методом горячего выдавливания через профильную матрицу площадь соединения его составляющих и, следовательно, прочность значительно возрастают, а также экономится 50–70% дорогостоящей быстрорежущей стали на одном метчике [3].

С целью изучения влияния горячего выдавливания через профильную матрицу на структуру и фазовый состав биметаллической заготовки, представляющей собой неразъемное соединение хвостовика (сталь 40Х) и рабочей (режущей) части (сталь Р6М5), были проведены металлографические исследования поверхностей продольного и поперечного срезов заготовки (рис. 2, а, б), а также замеры микротвердости на компьютеризированном микротвердометре Duramin-5 с нагрузкой 50 кгс в течение 12 с по Виккерсу.

Изучая участок границы, разделяющей наружную (сталь Р6М5) и внутреннюю (сталь 40Х) части заготовки на продольном разрезе, можно отметить, что граница между двумя материалами представляет собой прочное соединение, без микротрещин и расслоений (рис. 3). Между металлами наблюдается тонкий ферритный слой 2, образованный на внутреннем материале заготовки вследствие предварительного нагрева под деформацию, а также диффузии углерода.

На рисунке хорошо видна текстура в обоих металлах, образованная за счет того, что в процессе пластической деформации зерна в сталях 40Х и Р6М5 выстраиваются вдоль направления деформации.

На рис. 4 показана микроструктура внутренней части заготовки (сталь 40Х). По периметру центральной части материал имеет феррито-перлитную структуру с заметно большим размером зерен, чем в центральной части. За счет больших усилий всестороннего сжатия при выдавливании зерна в центральной части значительно измельчены и имеют однородный характер.

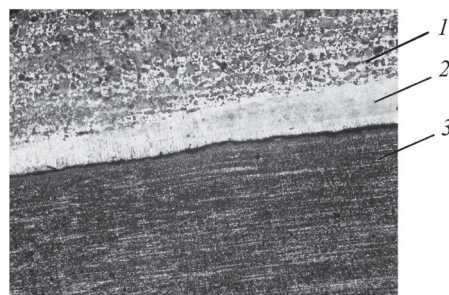


Рис. 3. Микроструктура продольного разреза биметаллической заготовки метчика: 1 – сталь 40Х; 2 – ферритный слой; 3 – сталь Р6М5

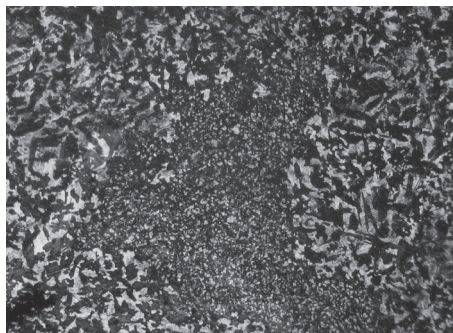


Рис. 4. Микроструктура центральной части поперечного разреза биметаллической заготовки метчика (сталь 40X). $\times 100$

По периферии внутренняя часть из стали 40X обрамлена ферритной оболочкой. За ней следует структура из зерен феррита и перлита различного размера. Ферритные зерна имеют большую твердость (HV 268), чем перлитные (HV 160). Это можно видеть на рис. 6 по отпечаткам пирамидки микротвердомера. При большом увеличении (1000) в ферритных зернах просматриваются дисперсные выделения карбидов (рис. 5, 6). Возможно, это происходит вследствие динамического старения.

Наружная часть биметаллической заготовки, изготовленная из стали Р6М5, имеет основу из α -твердого раствора с мелкими округлыми выделениями карбидов легирующих элементов (Cr, W, V и др.). Граница между двумя материалами в по-

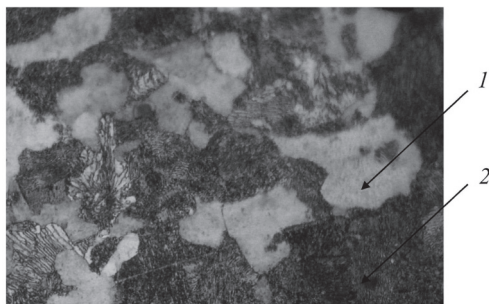


Рис. 5. Микроструктура периферийной части поперечного разреза центрального материала заготовки метчика (сталь 40X): 1 – зерна феррита; 2 – зерна перлита. $\times 400$

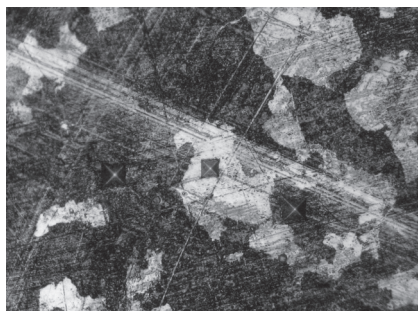


Рис. 6. Микроструктура центральной части (в области периферии) поперечного разреза биметаллической заготовки метчика. Особенности ферритной структуры стали 40X, $\times 1000$

перечном разрезе также носит плотный характер, без зазоров и микротрещин с взаимным проникновением друг в друга (рис. 7).

Для определения прочности биметаллических заготовок метчиков, полученных различными методами, были проведены сравнительные испытания этих заготовок путем сдвига соединенных частей относительно друг друга при растягивающих нагрузках [4].

Сравнение механических свойств биметаллических заготовок, изготовленных электроконтактным способом и сваркой трением, показывает, что сварка трением заготовок диаметром 20 мм имеет лучшие результаты как при испытании на разрыв, так и при кручении (соответственно 518 и 286 МПа в случае сварки электроконтактным способом и 577 и 312 МПа в случае сварки трением). Исследования также показали, что рассмотренные методы сварки в той или иной мере способствуют появлению дополнительного концентратора напряжений в зоне соединения разнородных материалов, что приводит к появлению поверхностных и подповерхностных дефектов (раковин, непровара, поджога и пережога металла, кольцевых трещин, свищей) и резко снижает эксплуатационную прочность сварных соединений.

При исследовании зоны сварки было установлено, что причиной, способствующей зарождению трещин и их распространению при приложении нагружающего усилия, является наличие дополнительного градиента микротвердости в зоне стыка быстрорежущей и конструкционной сталей, который в свою очередь вызван диффузионными процессами в околошовной зоне. Основным элементом-мигрантом является углерод, который в результате встречной диффузии вдоль стыка со стороны конструкционной стали образует обезуглероженную зону, а со стороны быстрорежущей – дополнительную карбидную зону.

В связи с изложенным выше появились попытки исключения недостатков, присущих сварке трением, например, применением пайки вместо свар-



Рис. 7. Микроструктура наружной части (сталь Р6М5) и переходного слоя поперечного разреза биметаллической заготовки метчика. $\times 100$

ки. Такая замена метода соединения режущей и хвостовой части концевого инструмента основана на следующих положениях. Известно, что соединение при пайке осуществляется при помощи промежуточного материала (припоя), способствующего образованию металлических связей с обоими соединяемыми материалами. Не рассматривая здесь термодинамические и металлургические процессы образования соединения, можно однако считать, что наличие промежуточного слоя между соединяемыми поверхностями с точки зрения механики разрушения его при критических нагрузках способствует проявлению барьерного эффекта при распространении трещин, с одной стороны, и снижению концентрации напряжений в зоне соединения механически разнородных материалов – с другой.

В работе [4] была исследована возможность получения неразъемного соединения биметаллического инструмента с применением вакуумной пайки. В качестве припоя были использованы такие материалы, как чугун или ферромарганец различных составов, температуры плавления которых были выше температуры закалки быстрорежущей стали Р6М5. Для испытаний были изготовлены образцы, которые служили моделью биметаллического инструмента в отношении образования паяного соединения. Результаты испытаний на кручение паяных образцов приведены в таблице.

Состав припоя	Крутящий момент, кг·м, max	Угол закручивания, град	Диаметр сечения, мм	Напряжение сдвига $\tau_{max} = \frac{12M_{max}}{\pi d^3}$, МПа
Fe–Mn, 100%	2,2	60	6,5	307
Чугун 100%	4,0	103	7,5	364
Fe–Mn 80% +Cu 20%	1,7	60	6,5	237
Чугун 20%+ Fe–Mn 80%	2,4	52	6,5	335

Как следует из таблицы, наиболее высокие показатели прочности при кручении (максимальные напряжения на сдвиг) были достигнуты при использовании в качестве припоя чугуна. Сравнение с соответствующими данными, полученными при испытании образцов, сваренных трением, упомянутыми выше, свидетельствует о практическом совпадении величин напряжений.

При разработке новой технологии получения биметаллического инструмента [5] в основу положена операция образования соединения режущей и хвостовой частей путем горячей пластической совместной деформации при выдавливании профильной режущей части через матрицу соответствующей конфигурации. Такой подход позволяет избежать мно-

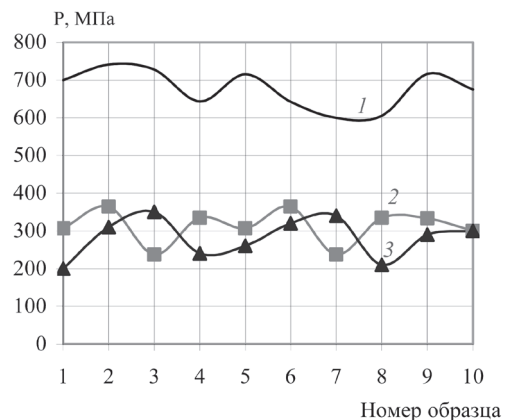


Рис. 8. Результаты испытаний прочности соединения компонентов биметаллической заготовки концевого режущего инструмента: 1 – горячая деформация; 2 – пайка; 3 – сварка трением

гих негативных факторов, присущих другим методам получения неразъемного соединения.

Результаты испытаний биметаллических образцов, изготовленных различными методами (сварка трением, электроконтактная сварка, пайка и горячее выдавливание), приведены на рис. 8. Из рисунка видно, что прочность соединения компонентов биметаллических образцов, изготовленных методом горячего выдавливания, значительно превосходит прочность образцов, полученных методами сварки трением и пайки.

Проведенные исследования микроструктуры биметаллических заготовок метчиков и ее влияния на прочность изделия показали, что прочностные показатели биметаллического изделия, полученные методом горячего выдавливания через профильную матрицу, возрастают за счет образования текстуры вдоль направления деформирования как в стали Р6М5, так и в стали 40Х, а также за счет мелкодисперсной однородной структуры в центральной части заготовки (сталь 40Х), которая играет роль прочного и в то же время пластичного стержня, увеличивая прочность изделия на изгиб и кручение. Полосчатая структура (текстура) также повышает эти показатели. Полученные выводы подтверждаются результатами испытаний образцов на кручение.

Выводы

Использование технологии, основанной на формообразовании горячим выдавливанием, дает возможность при относительно низких отходах высоколегированного металла получать заготовки инструмента по форме, близкой к готовому изделию, и одновременно дополнительно улучшить потребительские свойства изготавливаемого инструмента. Использование биметаллических концевых инструментов позволит существенно эконо-

мать дорогостоящие быстрорежущие стали. Коэффициент использования быстрорежущей стали (по новой технологии) составляет 0,75. В результате проведенных в Физико-техническом институте НАН Беларуси исследований можно рекомендовать различные схемы горячего пластического деформирования, конструкции формообразующего инструмента, подобрать соответствующий пресс для изготовления заготовок различных концевых

инструментов, в том числе в биметаллическом исполнении. Разработанный метод горячего выдавливания может быть применен для изготовления всей номенклатуры концевого режущего инструмента, включая метчики, сверла, фрезы, развертки и др. Наиболее полно технико-экономические возможности процесса горячего выдавливания могут быть реализованы в условиях крупносерийного и массового производства инструмента.

Литература

1. Биметаллическая заготовка концевого режущего инструмента / А. В. Алифанов, В. Г. Кантин, А. М. Милюкова. Заявка № u20090773 от 21.09.09.
2. Горячее прессование труб и профилей / Ю. В. Манегин, А. Е. Притоманов, Т. Шпиттель, А. М. Кнаушнер. М.: Металлургия, 1980.
3. Способ изготовления биметаллической заготовки концевого режущего инструмента / А. В. Алифанов, В. Г. Кантин, А. М. Милюкова. Заявка № a20091356 от 22.09.09.
4. Прочностные испытания биметаллического концевого инструмента, полученного методами сварки, пайки и горячего пластического деформирования / А. В. Алифанов, Л. А. Исаевич, В. Г. Кантин, А. М. Милюкова // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Материалы II Междунар. науч.-техн. конф. Мн., 2007. Ч. 2. 2007. Мн.: Экоперспектива. С. 135–141.
5. Изготовление концевого биметаллического режущего инструмента методом горячего пластического деформирования / А. В. Алифанов, В. Г. Кантин, А. М. Милюкова // Литье и металлургия. 2006. № 4. С. 125–127.