

УДК 621.715.043

А. М. Миллюкова

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск

ПОЛУЧЕНИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК КОНЦЕВОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

Предложен ресурсосберегающий технологический процесс получения упрочнённого биметаллического концевого инструмента, основанный на формообразовании пластическим деформированием. Технология позволяет при небольшом количестве отходов металла получать заготовки, близкие по форме к готовому инструменту, улучшать их структурные и механические свойства.

Введение. Концевой (осевой) режущий инструмент (далее — КРИ) (метчики, свёрла, фрезы и др.), наиболее широко применяемый в металлообработке, изготавливается из высоколегированных инструментальных сталей и твёрдых сплавов. Для экономии инструментальной стали его рекомендуется выполнять составным: рабочую часть — из быстрорежущей стали Р6М5, хвостовик — из более дешёвых конструкционных сталей 45, 40Х. Обычно соединение частей проводят с применением сварки трением, электроконтактной сварки, пайки. Однако данные методы обладают рядом серьёзных недостатков (смещение сваренных торцов, непровар, микротрещины, образование хрупкой зоны обезуглероженного слоя), которые приводят к снижению прочности и стойкости инструмента. Последующее формообразование рабочей (режущей) части резанием увеличивает трудоёмкость изготовления, расход инструментальной стали, а также повышает вероятность получения бракованных изделий из-за неравномерности по высоте режущих кромок.

В Физико-техническом институте НАН Беларуси разработан метод изготовления биметаллической заготовки (далее — БЗ) КРИ горячим выдавливанием через профильную матрицу с обжатием и одновременным формообразованием

рабочей части заготовки. При этом потери стали сводятся к минимуму за счёт пластического перераспределения деформируемого материала и исключения процесса резания.

Методология и методы исследования. Исследование современных технологий получения КРИ (в том числе в биметаллическом исполнении) показало, что традиционные методы формообразования рабочей части КРИ резанием не решают проблему экономии инструментальных высоколегированных сталей, приобретаемых за рубежом. Методы поверхностного упрочнения повышают износостойкость режущего инструмента, однако не оказывают влияния на его объёмное упрочнение. При эксплуатации КРИ испытывает высокие сжимающие и крутящие нагрузки, которые приводят к поломкам, поэтому для такого инструмента необходимы повышенные механические свойства по всему объёму. В настоящее время широко применяется способ изготовления заготовки КРИ из разнородных сталей, который заключается в получении неразъёмного соединения сваркой трением. Однако формообразование его рабочей (режущей) части производится резанием, что приводит к нерациональному расходу стали

в стружку, а также к проявлению недостатков, отмеченных выше.

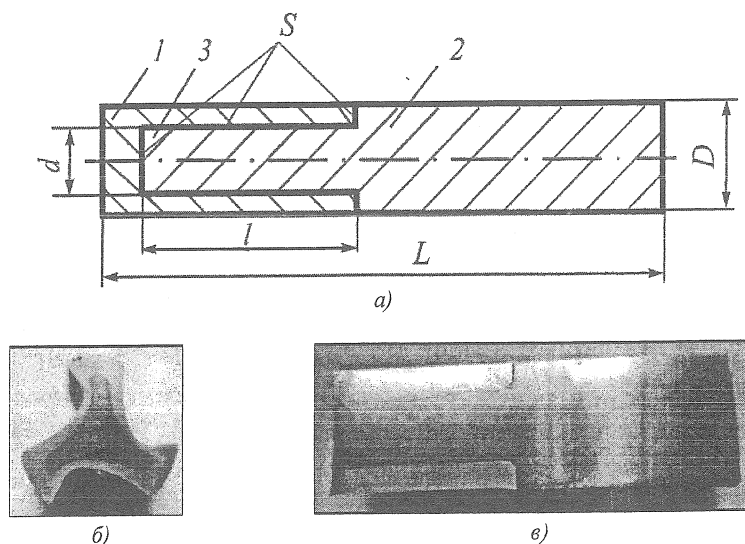
Организация исследования. Процесс получения составных частей БЗ инструмента горячим пластическим формованием, в том числе методом горячего гидродинамического выдавливания, позволяет снизить расход высоколегированной инструментальной стали, сократить операции резания, улучшить структуру стали и, соответственно, повысить механические свойства изделия. Однако этот способ предполагает получение отдельных элементов выдавливанием, а затем их соединение сваркой трением, что отрицательно влияет на качество инструмента [1]. Следовательно, необходимо разработать новый метод изготовления БЗ горячим пластическим деформированием, который обеспечивал бы одновременное соединение частей БЗ и формование рабочей части.

Результаты исследования и их обсуждение. При совместном горячем выдавливании

через профильную матрицу двух составных частей заготовки образуется высокопрочное неразъемное соединение с одновременным формированием рабочего профиля инструмента, близкого к готовому изделию. Разработанный способ апробирован на примере получения БЗ метчика М12 [2].

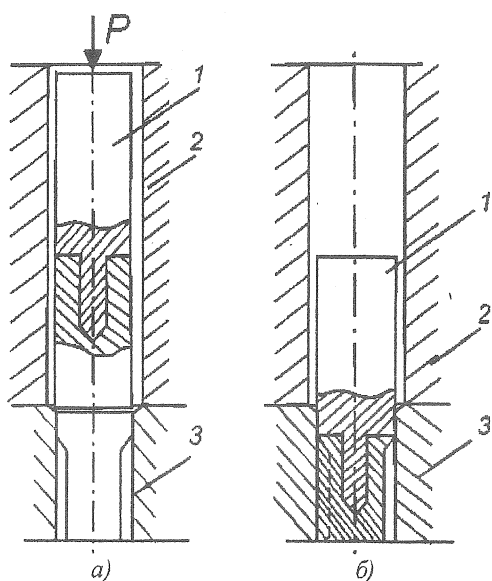
Разработана ступенчатая конструкция БЗ (рисунок 1) с учётом регламентированной толщины наружного слоя металла (составляющей 2...3 высоты профиля резьбы) и в целях увеличения площади контакта поверхностей рабочей и хвостовой частей. Увеличение площади физического контакта двух металлов, с учётом их схватывания в процессе деформирования, повышает прочность соединения [3].

Схема горячего пластического формования БЗ КРИ (рисунок 2) включает сборку рабочей и хвостовой частей дорнированием, горячее выдавливание с формованием рабочей части заготовки в профильной матрице с одновременным получением высокопрочного неразъемного её соединения с хвостовиком.



a — конструкция БЗ КРИ в сборе для горячего пластического формования заготовки; *b* — поперечное сечение БЗ КРИ; *c* — продольное сечение БЗ КРИ; 1 — рабочая часть; 2 — хвостовик; 3 — цилиндрический выступ хвостовика; *S* — площадь соединения контактных поверхностей; *d* — диаметр выступа; *l* — длина выступа; *D* — диаметр заготовки; *L* — длина заготовки

Рисунок 1 — Биметаллическая заготовка КРИ



a — начало процесса; *b* — выдавливание рабочей части 1 — заготовка; 2 — контейнер; 3 — матрица

Рисунок 2 — Схема получения БЗ метчика пластическим формованием

Для изучения характера истечения БЗ через коническую матрицу была принята сферическая схема и проведено исследование напряжённо-деформированного состояния частей заготовки в процессе пластического деформирования. Как правило, в литературе приведены схемы прямого истечения через коническую матрицу относительно мягкого материала, внутри которого находится более твёрдый недеформируемый стержень, при этом происходит плакирование этого стержня. Сложность рассматриваемой схемы заключается в том, что внутри БЗ находится мягкий материал, а снаружи — твёрдый.

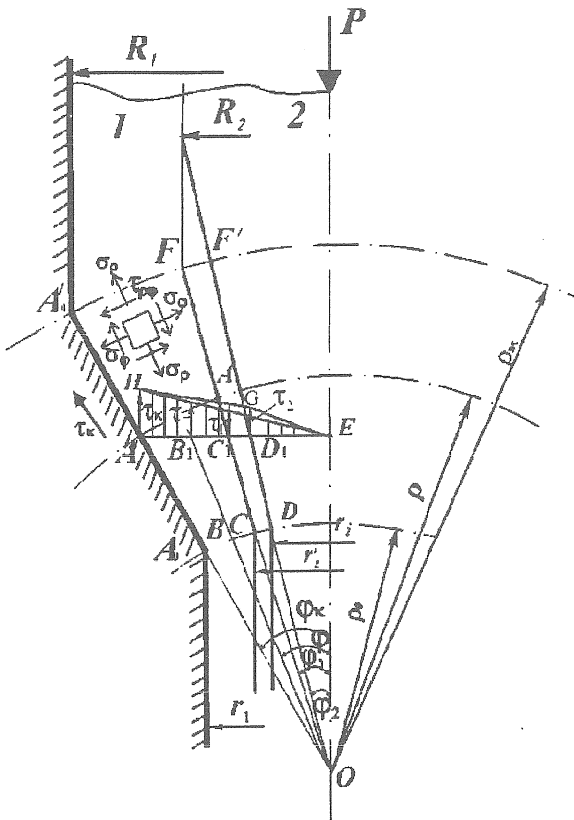
Для обеспечения регламентированной толщины поверхностного твёрдого слоя по длине рабочей части БЗ и определения зависимости между геометрическими параметрами формообразующего инструмента, размерами исходных заготовок и механическими свойствами используемых разнородных металлов проведён анализ и расчёт напряжённо-деформированного состояния частей БЗ при их

коаксиальном истечении через коническую матрицу.

Установлено, что в зоне пластической деформации, вследствие различия механических свойств компонентов, происходит перераспределение объёмов металлов: твёрдый слой наружного металла занимает относительно больший объём, чем в исходном состоянии. В результате поверхность раздела компонентов смещается в сторону мягкого внутреннего металла, и на выходе из зоны пластической деформации отношение размеров компонентов в поперечном сечении отличается от их отношения в исходной заготовке. Показано, что величина смещения поверхности раздела компонентов зависит от геометрии формообразующего инструмента (угла заходной части матрицы) и соотношения радиусов в исходной заготовке, а также от условий трения на контактных поверхностях. При совместной деформации разнородных материалов существует единственное положение поверхности раздела, на которой удовлетворяется равенство нормальных напряжений в обоих материалах. Установлены зависимости нормальных напряжений от положения поверхности раздела для каждого материала. Путём их совместного решения определены положение поверхности раздела, величина обжатия компонентов заготовки и их размеры после деформации.

Рассмотрено сходящееся течение компонентов бинарной системы в зоне конического канала матрицы, входной радиус которой равен R_1 , радиус выходного канала — r_1 , половина угла заходной части — φ_k , начальный радиус внутреннего металла БЗ — r_2 (рисунок 3).

Очаг пластической деформации ограничен сферическими поверхностями с радиусами $\rho_{вх}$ и ρ_0 и поверхностью конуса матрицы с образующей $A_0A'_0$. Наружный слой металла 1 более прочен, чем внутренний металл 2, соотношение их пределов текучести в процессе деформации $\sigma_{S_2}/\sigma_{S_1}$ меньше 1, что обуславливает такое распределе-



1 — наружный слой металла (Р6М5); 2 — внутренний слой металла (40Х)

Рисунок 3 — Схема пластического истечения БЗ через коническую матрицу

ние объёмов материалов в очаге деформации, при котором образующая конуса OCF смещается в положение ODF . При принятых допущениях $\sigma_\theta = \sigma_\phi$, $\sigma_i = \sigma_s$ получена система уравнений равновесия и пластичности

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{\partial \tau_{\rho\phi}}{\partial \phi} + 2(\sigma_\rho - \sigma_\phi) + \tau_{\rho\phi} \cdot \text{ctg} \phi &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_\phi}{\partial \phi} + 3\tau_{\rho\phi} &= 0 \\ \sigma_\rho - \sigma_\phi &= \sigma_s \end{aligned} \right\}$$

где $\sigma_\rho, \sigma_\theta, \sigma_\phi$ — главные нормальные напряжения;
 $\tau_{\rho\phi}$ — касательное напряжение;
 σ_s — интенсивность нормальных напряжений;

σ_s — напряжение текучести рассматриваемого металла.

Полученная система уравнений применена при решении задач течения как наружного слоя металла 1, так и внутреннего слоя металла 2. Расчётные величины, относящиеся к наружному слою, обозначены индексом 1, а к внутреннему — индексом 2. После соответствующих преобразований получено кубическое уравнение

$$x^3 - (N + n \text{tg} \phi_1) x^2 + (N \text{tg} \phi_k + 1) x - n \text{tg} \phi_1 = 0, \quad (1)$$

где $x = \text{tg} \phi_2$;

$$N = \frac{2(\sigma_{s1} - \sigma_{s2})}{\tau_k};$$

$$n = \frac{\tau_2}{\tau_1};$$

$$\text{угол } \phi_1 = \arcsin \frac{R_2}{R_1} \sin \phi_k.$$

Угол ϕ_2 отвечает условию равенства нормальных напряжений $\sigma_\phi^{(1)} = \sigma_\phi^{(2)}$ на поверхности контакта компонентов биметалла в пластической зоне в процессе выдавливания через конический канал матрицы при различных параметрах.

По рассчитанным данным построена номограмма (рисунок 4), позволяющая при известных геометрических параметрах матрицы и заготовки, значениях N и $\text{tg} \phi_1$ определить смещение границы раздела и соотношение радиусов внутреннего и наружного металлов на выходе из очага деформации. Управлять толщиной наружного прочного слоя металла можно путём изменения полуугла заходной части матрицы ϕ_k и соотношения исходных радиусов заготовки R_2/R_1 .

Увеличение толщины наружного металла в поперечном сечении заготовки рассчитывается из соотношения

$$\Delta r = r'_2 - r_2 = \rho_0 (\sin \phi_1 - \sin \phi_2) = r_1 \frac{\sin \phi_1 - \sin \phi_2}{\sin \phi_k}. \quad (2)$$

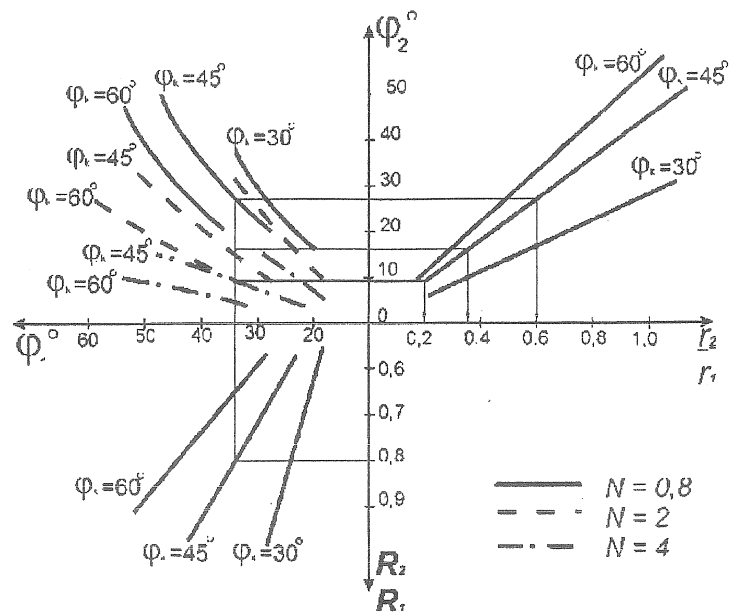


Рисунок 4 — Зависимость смещения границы раздела и соотношения радиусов наружного и внутреннего металлов на выходе из очага деформации

Так как $\sin \varphi_1 = \frac{R_2}{R_1} \sin \varphi_k$, то

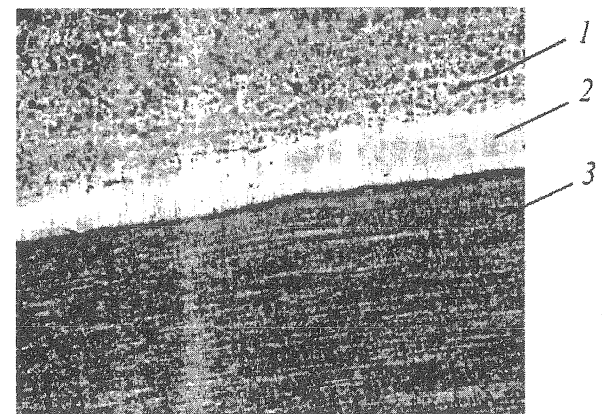
$$\Delta r = r_1 \left(\frac{R_2}{R_1} - \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_k} \right). \quad (3)$$

Разработанная модель включает основные факторы, которые влияют на процесс коаксиального истечения двух разнородных металлов через коническую часть матрицы при выдавливании. При появлении в цилиндрической части матрицы сложной гравюры, соответствующей профилю рабочей части получаемой заготовки, расчёт процесса истечения металлов усложняется, однако выведенные зависимости (1) — (3) справедливы для рабочей части заготовки в области зуба КРИ. В области стружечной канавки необходимо рассматривать процесс с учётом степени деформации, большей в 2 раза, чем при формировании зуба.

Исследования структуры и механических свойств образцов БЗ метчика М12, полученных пластическим формообразованием, по-

казали, что они отличаются высокой прочностью полученного соединения без трещин и расслоений, наличием текстуры в обеих сталях (рисунок 5), повышенной твёрдостью рабочей части (HRC 64...68) и хвостовика (HRC 37...40) [4].

Проведены сравнительные испытания при кручении на прочность соединения рабочей и хвостовой частей заготовок, полученных



1 — сталь 40X; 2 — переходная зона; 3 — сталь P6M5. ×50

Рисунок 5 — Микроструктура БЗ метчика

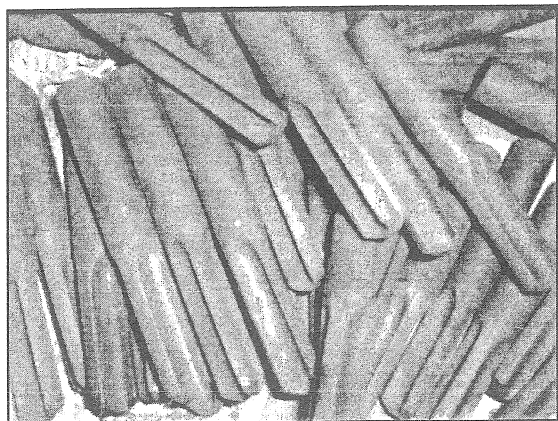
горячим пластическим формообразованием, сваркой трением и пайкой. Установлено, что прочность соединения в заготовках, полученных горячим выдавливанием (530...580 МПа), до 50% превышает прочность соединения заготовок, полученных пайкой, и до 35% — сваркой трением [5].

По разработанной технологии изготовления биметаллических заготовок получена опытная партия БЗ метчиков М12 (рисунок 6, а), из которой на Минском заводе специального инструмента и технологической оснастки (ПРУП «МЗ СИиТО») изготовлена партия метчиков М12 × 1,25 (рисунок 6, б). Они успешно прошли испытания на ОАО «Минский автомобильный завод» и ОАО «Барановичский завод автоматических линий» при нарезании резьбы в деталях из стали 45 по стандартной методике, подробно описанной в разделе 3 ГОСТ 3449-84 [6]. При испытании метчиков установлено, что их период стойкости в среднем на 13% превышает данный показатель стандартных метчиков М12 × 1,25 из стали Р6М5 за счёт повышения эксплуатационных характеристик, описанных выше. Это позволяет рекомендовать их для широкого использования на металлообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь.

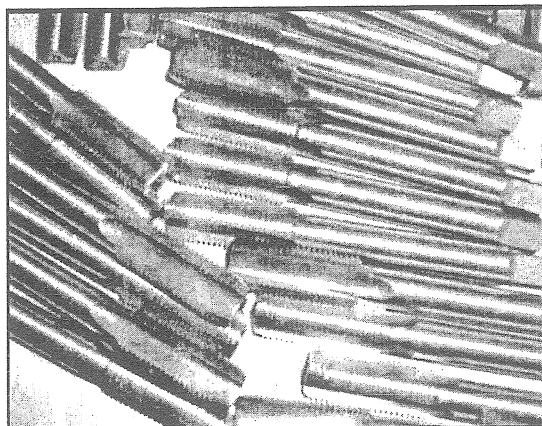
Заключение. Использование технологии, основанной на формообразовании пластическим деформированием, даёт возможность получать заготовки инструмента по форме, близкой к готовому инструменту. Изготовление биметаллических концевых инструментов позволяет сэкономить до 70% инструментальной стали, снизить трудоёмкость изготовления, повысить прочность и работоспособность за счёт улучшения структуры металла в процессе горячего пластического формообразования. Разработанная в Физико-техническом институте НАН Беларуси технология горячего выдавливания БЗ может быть применена для изготовления всей номенклатуры концевых режущего инструмента, включая метчики, свёрла, фрезы, развёртки и т. д. Наиболее полно технико-экономические возможности процесса горячего выдавливания могут быть реализованы в условиях крупносерийного и массового производства инструмента.

Список цитируемых источников

1. Способ изготовления заготовок биметаллического инструмента : пат. SU 1675016 А1 Рос. Федерация : МПК5 В 21 К 5/04 / А. В. Степаненко, К. В. Брехов, В. Г. Кантин; заявитель Физ.-техн. ин-т



а)



б)

а — биметаллическая заготовка; б — готовые метчики М12 × 1,25

Рисунок 6 — Опытная партия инструментов, полученных горячим выдавливанием

АН БССР. — № 4499181 ; заявл. 27.10.1988 ; опубл. 07.09.1991, Бюл. № 33.

2. Способ изготовления биметаллической заготовки концевой режущего инструмента : пат. 14659 Респ. Беларусь, МПК (2009) В 21С 25/00 / А. В. Алифанов, В. Г. Кантин, А. М. Милюкова; заявитель Физ.-техн. ин-т НАН Беларуси. — № а 20091356; заявл. 21.09.09; опубл. 30.08.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2011. — № 4(81). — С. 78.

3. Биметаллическая заготовка концевой режущего инструмента : пат. 6813 Респ. Беларусь, МПК (2009) В 21J 13/02 В 21С 25/02 / А. В. Алифанов, В. Г. Кантин, А. М. Милюкова; заявитель Физ.-техн. ин-т НАН Беларуси. — № и 20090773; заявл. 21.09.09; опубл. 30.12.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2010. — № 6(77). — С. 162.

4. Алифанов, А. В. Влияние структуры биметаллических заготовок концевой режущего инструмента, полученных горячим выдавливанием, на их прочност-

ные характеристики / А. В. Алифанов, Г. П. Горецкий, А. М. Милюкова // Литьё и металлургия. — 2010. — № 4. — С. 141—145.

5. Прочностные испытания биметаллического концевой инструмента, полученного методами сварки, пайки и горячего пластического деформирования / Алифанов А. В. [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : материалы II Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 ч. — Минск : Экоперспектива, 2007. — Ч. 2. — С. 135—141.

6. Метчики. Технические условия : ГОСТ 3449-84. — Введ. 01.01.1986. — Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1998. — 12 с.

Материал поступил в редакцию 05.12.2012 г.

The resource-saving technological process is worked out for manufacturing the hardened bimetallic end tool. It is based on shaping by means of plastic forming. The technology makes it possible to obtain billets close to the shape of completed tools with low metal waste as well as to improve their structural and mechanical parameters.