

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОСАДКИ ТА ЇЇ ВІДСУТНОСТІ НА НЕРІВНОМІРНІСТЬ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ПРОТЯЖЦІ ПОКОВОК З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Розглянуто дослідження впливу характеристик параметрів процесу попередньої осадки перед операцією ковальської витяжки, на схему напружено-деформованого стану заготовок з титанових сплавів за допомогою математичного моделювання. Результатом дослідження є графічні залежності показника нерівномірності деформації. При аналізі результатів моделювання виявлено позитивний вплив операції осадки перед протяжкою, а саме те, що зі збільшенням ступеню деформації при осадці підвищується рівномірність розподілення деформацій в об'ємі металу, на відміну від протяжки без попередньої осадки.

Ключові слова: осадка; протяжка; титан; фактор форми; розподілення деформацій; показник нерівномірності деформації.

Постановка проблеми. Високі механічні властивості металу обумовлюють високу якість продукції, тому саме покращення механічних властивостей є важливою ціллю досліджень. Як відомо, механічні властивості металу залежать від способу обробки металу, тому важливим є дослідження впливу параметрів операцій на напружено-деформований стан металу, який обумовлює кінцеві механічні властивості продукції.

В даному дослідженні використане комбінування операції осадки та протяжки. Хоча цим методом обробки тиском і неможливо досягти рівномірного напружено-деформованого стану в процесі кування, але можна за допомогою варіювання параметрів процесу досягти найменшої нерівномірності.

Тому в даному дослідженні було вирішено спрямувати всі зусилля на визначення впливу параметрів осадки перед операцією протяжки, а основними параметрами процесу є фактор форми та сумарна ступінь деформації. Також невід'ємною частиною цих параметрів є дотримання температурного інтервалу кування. Усі ці параметри мають вплив на рівномірність напружено-деформованого стану.

Тому, згідно вищесказаному, підвищення рівня механічних властивостей, і як наслідок – якості поковок, завжди є найактуальнішою проблемою досліджень процесів обробки металів тиском.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Удосконалення технологічного процесу можливе шляхом покращення економічних показників. Основні положення щодо збільшення коефіцієнту використання металу та коефіцієнту використання тепла нагріву перед куванням розглянуто у підручнику [1]. По темі вільного кування, а саме виготовлення поковок із застосуванням операцій осадки та ковальської витяжки є багато джерел. Так, зокрема, типові схеми кантувань та обтиснень процесу ковальської витяжки, розрахунки переходів, а також розрахунку процесу формозміни металу або розрахунку силових параметрів процесу осадки розглянуто в підручниках [2, 3].

Операція осадки перед операцією протяжки є дуже важливою, так як дозволяє досягти необхідного рівня укову металу. Уков за останній підігрів має важливе значення, так як він впливає на формування мікроструктури та механічних властивостей металу [4].

В наш час проводиться багато досліджень [5, 6, 7] по вдосконаленню технології процесу осадки для підвищення механічних властивостей металу, так як вирішальну роль в формуванні, необхідних споживачу, механічних властивостей надає виникаючий в процесі осадки напружено-деформований стан.

Методики для визначення впливу термічного розігріву металу при куванні приведені в роботі [8]. В цій роботі досліджено вплив термічного розігріву металу на рівень середніх нормальних напружень в зоні деформації, а експериментальне дослідження розрахунків, приведених в цій роботі, проведені зі злитками які мають велику масу та зроблені зі сталі 45.

Розподілення та інтенсивність деформації в середньому перерізі зони деформації в залежності від таких змінних факторів як ступінь деформації, відносна подача та кут вирізу нижнього бойка, наведені в роботі [9]. Також в цій роботі приведені дані проведеного експерименту та графічні залежності розрахунків розподілення та інтенсивності деформації.

В роботі [10] викладено принцип розрахунку та дана методика визначення напружень при протяжці заготовки в комбінованих та вирізних бойках. При розрахунку в цій роботі використані положення теорії функцій комплексних змінних та конформних відображень. Приведена методика дозволяє визначити напружений стан в поперечному перерізі круглої заготовки при протяжці в бойках різноманітної конфігурації та з різноманітними кутами вирізу при різних обтисненнях та коефіцієнтах тертя. Також методики розрахунку впливу кута вирізу нижнього бойка на напружено-деформований стан металу в зоні деформації розглянуто у підручнику [11].

Експериментальні дані про вплив технологічних параметрів процесу протяжки на якість поковок з титанових сплавів приведені в роботі [12]. Дослідження проводилися в умовах металургійного заводу, а заготовки були зроблені з титанового сплаву ВТ9 та відковувалися при варіюванні відносної подачі, кута кантування та одиничного обтиснення. Якість металу з різних експериментальних партій порівнювалася для визначення кращого співвідношення параметрів кування.

Титанові сплави все частіше використовуються в наш час із за їхніх фізичних та механічних властивостей, які перевищують показники звичайних та деяких легованих сталей. Тому дослідження впливу деформаційних параметрів при куванні титану, а саме процесі осадки перед протяжкою, є важливим для покращення технологічного процесу, а так як експериментальне визначення напружено-деформованого стану поковки при куванні є досить складним – було вирішено використати математичне моделювання для дослідження цього процесу.

Постановка задачі. Головною метою даної роботи є визначення впливу параметрів процесу осадки перед ковальською витяжкою на напружено-деформований стан поковки з метою поліпшення механічних властивостей.

Для моделювання процесу вільного кування в Forge 2008® були задані такі параметри:

- матеріал заготовки – титановий сплав ВТ6;
- діаметр заготовки 400 мм;
- фактор форми (h/D): 1; 2;
- ступінь деформації при осадці: 30 %; 50 %.

Також обрано оптимальний температурний інтервал для даного сплаву титану, який складає 1150 – 850 °С. Відповідно до технології кування титану необхідний підігрів інструменту для зменшення теплових витрат поковки. В даному випадку бойки підігріті до 300 °С. При моделюванні використовуються осадочні плити та комбіновані бойки – верхній плоский, а нижній вирізний. Розвал вирізу нижнього бойка становить 450 мм, а глибина вирізу – 160 мм.

Було запропоновано схему кантувань, яка представляє собою схему кантувань «по кільцю» із 16 обтисненнями, тобто первинне обтиснення, потім два обтиснення з кантуванням на 120°, потім три обтиснення з кантуванням на 60° і десять обтиснень з кантуванням на 15°. Сумарний ступінь деформації при протяжці складав 10 % за прохід, а відносна подача – 0,5.

Всього було промодельовано чотири процеси протяжки з попередньою осадкою заготовки, при яких змінювалися геометричні параметри заготовки та ступінь деформації при осадці. Таким чином отримано результати моделювання процесів з такими параметрами:

- висота заготовки 400 мм, ступінь деформації 30 %
- висота заготовки 800 мм, ступінь деформації 30 %
- висота заготовки 400 мм, ступінь деформації 50 %
- висота заготовки 800 мм, ступінь деформації 50 %

Ці результати моделювання було порівняно з результатами моделювання процесу протяжки заготовки з ідентичними параметрами описаними вище, але без попередньої осадки перед протяжкою заготовки.

Для аналізу результатів моделювання було зроблено нарізки поперечних перерізів заготовки

під час деформації. Нарізки виконано таким чином, як показано на рис. 1.

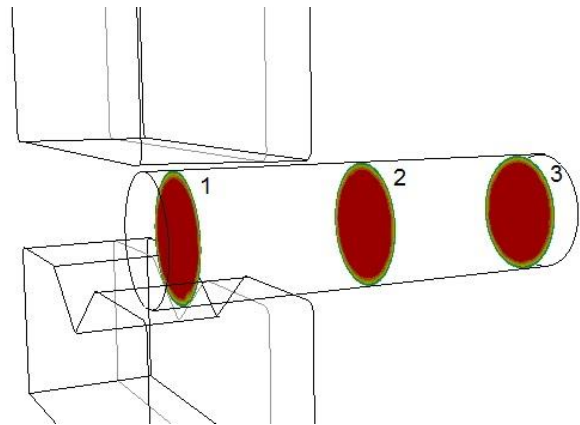
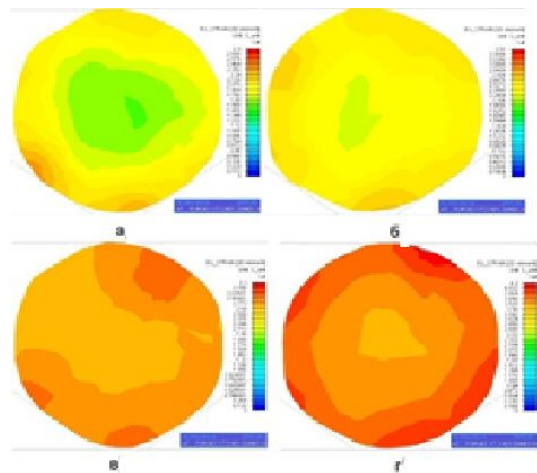


Рис. 1 – Поперечні перерізи на початку заготовки, в середині заготовки та в кінці заготовки

Рівномірність розподілення деформацій в металі визначається як можна меншою відмінністю показників деформації між собою в перерізі.

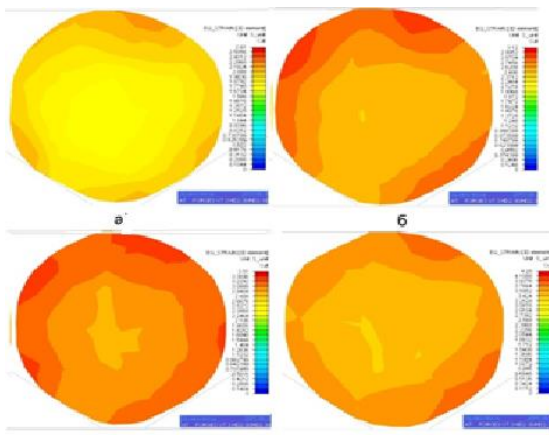
Для оцінки нерівномірності розподілення деформацій, яка представляє собою найменше відхилення показників еквівалентної деформації між собою в перерізі, був розрахований показник нерівномірності деформації K_n . Показник нерівномірності деформації може приймати значення не більше одиниці, так як є відношенням показників еквівалентної деформації в контрольних точках перерізу до максимального значення еквівалентної деформації в перерізі. В кожному перерізі побудовано чотири діагоналі, які розташовані під кутом 45° одна до одної. Далі на кожен діагональ було нанесено 6 контрольних точок симетрично до точки з максимальним значенням та симетрично до центру перерізу.

На рис. 2 та 3 приведено розподілення деформацій в третьому поперечному перерізі при першому та другому проході по довжині з попередньою осадкою заготовки.



а – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 1$; б – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 2$;
в – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 1$; г – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 2$

Рис. 2 – Розподілення деформацій при першому проході по довжині



а – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 1$; б – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 2$;
в – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 1$; г – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 2$
Рис. 3 – Розподілення деформацій
при другому проході по довжині

Як видно з рис. 2 та 3 зі збільшенням фактора форми та ступеню деформації при осадці, збільшується і рівень еквівалентної деформації кінцевих показників при протяжці.

На рис. 4 приведено розподілення деформацій в третьому поперечному перерізі при першому та другому проході по довжині без попередньої осадки заготовки.

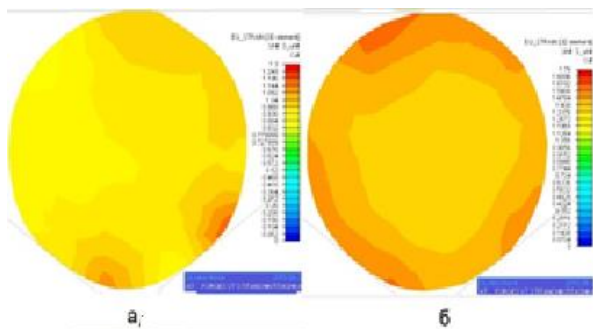


Рис. 4 – Розподілення деформацій у перерізі: а при першому та б – другому проході по довжині

При порівнянні результатів моделювання з попередньою осадкою та без неї, як видно з рисунків 2, 3 та 4, видно що при протяжці без попередньої осадки показники еквівалентної деформації нижчі ніж при протяжці з попередньою осадкою.

Більш детальний аналіз нерівномірності розподілення деформацій проведено за допомогою побудови графіків. На рис. 5 зображено показники нерівномірності деформації в контрольних точках на діагоналях перерізу при протяжці без попередньої осадки.

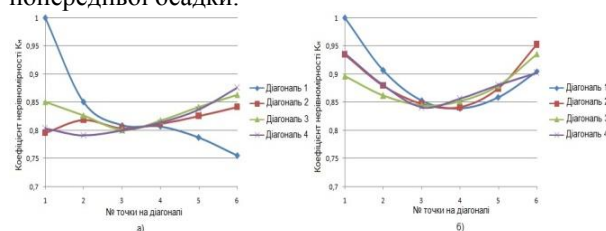
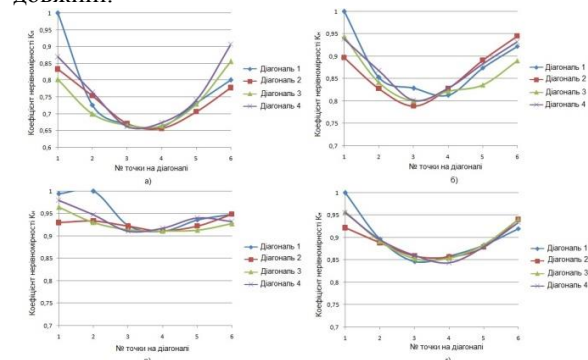


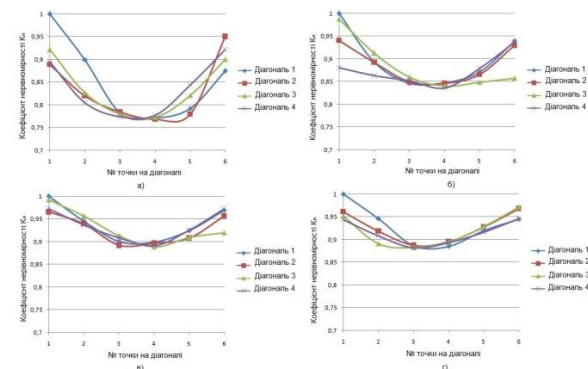
Рис. 5 – Розподілення показника нерівномірності деформації в перерізі при протяжці без попередньої осадки заготовки: а – за перший та б – за другий прохід

На рис. 6 та 7 зображено показники нерівномірності деформації в контрольних точках на діагоналях перерізу при протяжці з попередньою осадкою при першому та другому проході по довжині.



а – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 1$; б – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 2$;
в – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 1$; г – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 2$

Рис. 6 – Розподілення показника нерівномірності деформації в перерізі при протяжці з попередньою осадкою заготовки за перший прохід



а – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 1$; б – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 2$;
в – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 1$; г – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 2$

Рис. 7 – Розподілення показника нерівномірності деформації в перерізі при протяжці з попередньою осадкою заготовки за другий прохід

Таким чином, розглянувши графіки розподілення показника нерівномірності деформації, з рисунків 5, 6 та 7 видно, що зі збільшенням фактора форми та ступеню деформації при осадці рівномірність розподілення деформацій в поковці зростає. Також спостерігається зменшення нерівномірності розподілення деформацій в поковці при протяжці з попередньою осадкою ніж без неї.

Висновки проведеного дослідження.

1) Операція осадки перед операцією протяжки необхідна для збільшення укову і, як наслідок, необхідна для збільшення рівномірності розподілення деформацій в об'ємі металу поковки.

2) Фактор форми заготовки майже не впливає на кінцеві показники рівномірності розподілення деформацій в металі. Так, наприклад, при порівнянні результатів протяжки при осадці заготовки з фактором форми 1 та 2, більш рівномірне, хоча і незначне, розподілення деформацій присутнє при $h/D = 2$.

3) Більший вплив на рівномірність розподілення деформацій має ступінь деформації при попередній осадці. Таким чином, як показали

результати моделювання, при збільшенні ступеню деформації при попередній осадці з 30 % до 50 % – рівномірність розподілення деформацій в об'ємі металу зросла.

Список літератури: 1. *Стасовський Ю.М.* Ресурсозбереження та екологія в процесах обробки металів тиском: Підручник / Ю.М. Стасовський, В.Л. Чухліб, В.В. Бояркін. – Дніпропетровськ: Пороги, 2013. – 353 с. 2. *Соколов Л.М.* Технологія кування: підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів / Л.М. Соколов, І.С. Алієв, О.Є. Марков, Л.І. Алієва. – Краматорськ: ДДМА, 2011. – 268 с. 3. *Охрименко Я.М.* Теорія процесов ковки. Учеб. посібник для вузів / Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин – М., «Высш. школа», 1977. 295 с. 4. *Титов Ю.А.* Свободная ковка. Основные операции и технологии : учебное пособие / Ю. А. Титов, А. Ю Титов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 73 с. 5. *Михалчев В.М.* Усовершенствование экспериментально-аналитической методики исследования напряженно-деформированного состояния боковой поверхности цилиндрических образцов при осесимметричной осадке / В.М. Михалчев, Ю.В. Добранюк, Е.А. Трещ // Наукові праці ВНТУ. 2011. №4. С. 1–8. 6. *Антощенко Ю.М.* Исследование состояния металла при осесимметричной осадке средствами компьютерных технологий / Ю.М. Антощенко, И.М. Таупек [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://econf.rae.ru/article/8617> 7. *Жбанков Я.Г.* Определение рациональных параметров профилированных заготовок, подвергаемых осадке плоскими плитами / Я.Г. Жбанков, О.Е. Марков, Р.И. Сивак // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2013. №8. С. 8–15. 8. *Антощенко Ю.М.* Связь напряжений с тепловым состоянием металла при ковке // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2002. №5. С. 12–17. 9. *Мохов А.И.* Повышение качества деформированного металла при ковке крупных поковок валов / А.И. Мохов, В.С. Максимук, А.Ю. Петунин, С.И. Данилин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1995. №5. С. 5–7. 10. *Назарьян В.А.* Расчет напряженного состояния при ковке-протяжке заготовок круглого сечения // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1998. №6. С. 13–16. 11. *Кальченко П.П.* Новые технологические процессыковки крупных прессовых поковок : монография / П.П. Кальченко, О.Е. Марков – Краматорск: ДГМА, 2014. – 100 с. 12. *Машеков С.А.* Влияние технологических параметровковки на качество заготовок из титановых сплавов / С.А. Машеков, В.А. Петров, А.В. Котелкин

// Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1991. №9. С. 4–5.

Bibliography (transliterated): 1. Stasovskyy Yu.M. Resursozberezhenniya ta ekolohiya v protsesakh obrobky metaliv tyskom: Pidruchnyk / Yu.M. Stasovskyy, V.L. Chukhlib, V.V. Boyarkin. – Dnipropetrovsk: Porohy, 2013. – 353 p. 2. Sokolov L.M. Tekhnolohiya kuvannya: pidruchnyk dlya studentiv vyshcheykh tekhnichnykh navchal'nykh zakladiv / L.M. Sokolov, I.S. Aliyev, O.Ye. Markov, L.I. Aliyeva. – Kramators'k: DDMA, 2011. – 268 p. 3. Ohrimenko Ja.M. Teorija processov kovki. Ucheb. posobie dlja vuzov / Ja.M. Ohrimenko, V.A. Tjurin – Moscow: «Vyssh. shkola», 1977. 295 p. 4. Titov Ju.A. Svobodnaja kovka. Osnovnye operacii i tehnologii : uchebnoe posobie / Ju. A. Titov, A. Ju. Titov. – Ul'janovsk: UIGTU, 2011. – 73 p. 5. Mihalichev V.M. Usovershenstvovanie jeksperimental'no-analiticheskoy metodiki issledovaniya naprjazhenno-deformirovannogo sostojaniya bokovoj poverhnosti cilindricheskikh obrazcov pri osesimmetrichnoj osadke / V.M. Mihalichev, Ju.V. Dobranjuk, E.A. Trach // Naukovi praci VNTU. 2011. No4. P. 1–8. 6. Antoshhenkov Ju.M. Issledovanie sostojaniya metalla pri osesimmetrichnoj osadke sredstvami komp'yuternykh tehnologij / Ju.M. Antoshhenkov, I.M. Taupek [Elektronnij resurs] // Rezhim dostupu: <http://econf.rae.ru/article/8617> 7. Zhbakov Ja.G. Opredelenie racional'nykh parametrov profilirovannykh zagotovok, podvergaemykh osadke ploskimi plitami / Ja.G. Zhbakov, O.E. Markov, R.I. Sivak // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem. 2013. No8. P. 8–15. 8. Antoshhenkov Ju.M. Svjaz' naprjazhenij s teplovym sostojaniem metalla pri kovke // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem. 2002. No5. P. 12–17. 9. Mohov A.I. Povyshenie kachestva deformirovannogo metalla pri kovke krupnykh pokovok valov / A.I. Mohov, V.S. Maksimuk, A.Ju. Petunin, S.I. Danilin // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davlenim. 1995. No5. P. 5–7. 10. Nazar'jan V.A. Raschet naprjazhenogo sostojaniya pri kovke-prjzhe zgotovok kruglogo sechenija // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davlenim. 1998. No6. P. 13–16. 11. Kal'chenko P.P. Novye tehnologicheskie processy kovki krupnykh pressovykh pokovok.: monografija / P.P. Kal'chenko, O.E. Markov – Kramators'k: DGMA, 2014. – 100 p. 12. Mashekov S.A. Vlijanie tehnologicheskikh parametrov kovki na kachestvo zagotovok iz titanovykh splavov / S.A. Mashekov, V.A. Petrov, A.V. Kotelkin // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem. 1991. No9. P. 4–5.

Поступила (received) 11.11.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Чухліб Віталій Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, Національна Металургійна Академія України, м. Дніпропетровськ, email: cvl1@mail.ru. тел. +380957925592

Chukhlib Vitalii Leonidovych – Ph.D., Associate Professor, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, email: cvl1@mail.ru telephone: +380957925592

Клемешов Євген Сергійович – аспірант, Національна Металургійна Академія України, м. Дніпропетровськ, email: klemeshov.evgen@gmail.com, тел. +380505810879

Klemeshov Yevhen Serhiovych – graduate student, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, email: klemeshov.evgen@gmail.com telephone: +380505810879

Гинкевич Володимир Олександрович – доктор технічних наук, професор, Національна Металургійна Академія України, м. Дніпропетровськ. Email: vgrin@a-teleport.com

Grinkevich Volodymyr Olexandrovych – PhD, professor, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, email: vgrin@a-teleport.com

Дія Хенрік – доктор технічних наук, професор, Czestochowa University of Technology, м. Ченстохова, Польща. email: dyja@wip.pcz.pl

Henryk Dyja – PhD, professor, Czestochowa University of Technolog, Czestochowa, Poland, email: dyja@wip.pcz.pl